



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

GABRIELA DA SILVA MATOS

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO AS
FIBRAS SEGUNDO AS NORMAS ABNT NBR 7190:1997 e ISO
13910:2005**

Itapeva - SP
2015

GABRIELA DA SILVA MATOS

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO AS
FIBRAS SEGUNDO AS NORMAS ABNT NBR 7190:1997 e ISO
13910:2005**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus Experimental de Itapeva, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Molina

Itapeva - SP
2015

M433a Matos, Gabriela da Silva
Análise da resistência ao cisalhamento paralelo as fibras segundo as normas ABNT 7190:1997 e ISO 13910:2005 / Gabriela da Silva Matos. -- Itapeva, SP, 2015
81 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado – Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Itapeva, 2015

Orientador: Julio Cesar Molina

Banca examinadora: Sâmique Kyene de Carvalho Araújo Camargo, Bruno Santos Ferreira

Bibliografia

1. Cisalhamento. 2. Madeira – Propriedades mecânicas. 3. Normas técnicas I. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Itapeva. II. Título


CDD 674.13

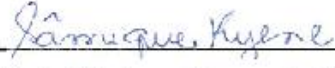
GABRIELA DA SILVA MATOS

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO AS
FIBRAS SEGUNDO AS NORMAS ABNT 7190:1997 E ISO 13910:2005**

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: 
Prof. Dr. Julio Cesar Molina
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

2º Examinador: 
Eng.ª Ind. Mad. Sâmique Kyene de Carvalho Araújo Camargo
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

3º Examinador: 
Me. Bruno Santos Ferreira
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

Itapeva, 12 de novembro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por todas as oportunidades que tenho recebido durante a graduação. Eu sei que o caminho a percorrer até a graduação ainda é longo, mas estar concluindo essa fase faz o diploma estar cada vez mais perto.

Quero agradecer a minha família que sempre acreditou em mim e que eu era capaz de fazer tudo aquilo que eu almejava. Aos meus pais Rosa e Rogério, as minhas irmãs Maria, Amanda e Beatriz, que nesses últimos meses de dedicação de trabalho estiveram sempre ao meu lado.

Ao meu orientador Júlio Molina. Ao técnico Brito que deu todo o suporte para confecção dos corpos de prova e para os ensaios mecânicos.

Aos meus amigos Ana Ferraz, Diego Rodrigues, Alexandre Camargo e Carlino que me auxiliaram nos ensaios mecânicos, preparação dos corpos de prova e análise estatísticas.

A todos os amigos feitos durante esses anos de graduação.

Não poderia deixar de agradecer também ao ciências sem fronteiras que contribuiu com a minha formação acadêmica e aos meus amigos do intercambio que hoje mesmo longe sempre contribuíram de alguma forma com apoio e amizade.

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.”

Aldo Novak

RESUMO

O conhecimento das propriedades físicas, anatômicas, químicas e mecânicas da madeira é essencial para o seu correto destino e uso final. Para uso estrutural, as normas técnicas estabelecem metodologias de ensaios para determinação das propriedades mecânicas da madeira. No Brasil a norma de cálculo para estruturas de madeira é a ABNT NBR 7190:1997 que atualmente encontra-se em processo de revisão. Uma das partes propostas para a nova versão da norma de madeiras é o método de ensaios que contemplará os procedimentos de ensaios a serem realizados para a determinação das propriedades mecânicas da madeira. Tem-se observado que vários modelos de corpos de prova e métodos de ensaio vem sendo realizados pela comissão de estudos CE - 02:126.10 da Associação Brasileira de Normas Técnicas para determinação da mais representativa metodologia e modelo de corpo de prova a serem considerados no método de ensaio. Dentro deste contexto, o objetivo desse estudo foi analisar a resistência de cisalhamento através da atual versão da norma brasileira ABNT NBR 7190:1997 e também a partir das recomendações da norma européia ISO 13910 para umidade de 12%. Foram também avaliadas as relações simplificadas entre a resistência ao cisalhamento e compressão paralela as fibras propostas pela ABNT NBR 7190:1997. Foram considerados neste estudo corpos de prova confeccionados com madeiras de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna* para a avaliação da resistência de cisalhamento na direção paralela as fibras. Os resultados obtidos mostraram que a norma brasileira apresentou valores maiores para a resistência de cisalhamento com relação a norma européia. Para madeiras de eucalipto e pinus as diferenças apresentadas foram de aproximadamente 35% e 65%, respectivamente, o que indicou que o corpo de prova proposto pela atual norma brasileira ainda consiste na melhor opção para o ensaio. Com relação as relações simplificadas analisadas entre a resistência ao cisalhamento e a compressão paralela as fibras, as diferenças obtidas para os coeficientes foram de 7,69% e 48% para madeiras de eucalipto e pinus, respectivamente.

Palavras-chave: cisalhamento, resistência, ABNT NBR 7190:1997, ISO 13910:2005

ABSTRACT

Knowing the physical, anatomical, chemical, and mechanical wood properties is essential for its proper destination and its final use. For the structural use, technical standards establish methodologies tests to determine the mechanical properties of wood. In Brazil, the standard calculation for wooden structures is the NBR 7190: 1997 which is currently under review. Part of the proposals for the new version of the currently Brazilian wood standard include the review of the mechanical properties tests methods. It has been noted that several specimens for the tests methods has been tested by the commission of CE studies - 02: 126.10 of the Brazilian Technical Standards Association to determine the most representative methodology and specimen model to be considered as the test method. Within this context, the aim of this study was to analyze the shear strength parallel to the grain using the current version of the Brazilian standard ABNT NBR 7190: 1997 and also from the recommendations of the European standard ISO 13910:2005 for humidity of 12%. The simplified relationship between shear strength and compression parallel to the grain proposed by the ABNT NBR 7190: 1997 was studied as well. This study considered specimens of *Pinus elliottii* and *Eucalyptus saligna* for the evaluation of shear strength parallel to the grain. The results showed that the Brazilian standard had higher values for shear strength than the European standard. The differences in the shear strength parallel to the grain between *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii* considering the two standards were approximately 35% and 65%, respectively, which indicate that the shear specimen proposed by the current Brazilian standard is still the best option for the shear strength parallel to the grain test. Regarding the simplified relationships the coefficients were 7.69% and 48% for eucalyptus and pine woods respectively, values higher than the values that the ABNT NBR 7190:1997 establishes in its current standard.

Keywords: shear, strength, ABNT NBR 7190:1997, ISO 13910:2005

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: As três direções da madeira (longitudinal, radial e tangencial) de acordo com a direção da grã e os anéis de crescimento	17
Figura 2: Feixe de canudos (analogia as células de madeira quando aplicado uma carga paralela as fibras ou traqueides)	19
Figura 3: Feixe de canudos (analogia as células de madeira quando aplicado uma carga perpendicular as fibras ou traqueides)	20
Figura 4: Estrutura interna da madeira em nível microscópico	20
Figura 5: Esquema tridimensional das coníferas	21
Figura 6: Esquema tridimensional das folhosas	22
Figura 7: Esquema simplificado da anatomia da árvore	22
Figura 8: Umidade da madeira	24
Figura 9: Direção da aplicação da força em relação a direção dos anéis de crescimento: 90 graus (perpendicular), 45 graus e 0 graus (paralelo)	28
Figura 10: Tensão versus deformação de Douglas-fir em compressão radial com vários teores de umidade (Madeira verde (1), madeira seca ao ar (2), madeira em condições forçadas de aquecimento -madeira seca em estufa (3)).....	31
Figura 11: Cisalhamento horizontal.....	32
Figura 12: Cisalhamento vertical.....	33
Figura 13: Cisalhamento “rolling”	33
Figura 14: Valores médios e valores característicos de resistência ao cisalhamento da madeira de Eucalipto	35
Figura 15: Corpo de prova para cisalhamento paralelo as fibras proposto por Santos Neto (1998).....	36
Figura 16: Corpo de prova para cisalhamento paralelo as fibras segundo a NBR 7190:1996.....	37
Figura 17: Modo de ruptura dos corpos de prova: (a) ruptura por cisalhamento, (b) ruptura na região do apoio, (c) ruptura ao longo da seção do cisalhamento, porém com a abertura da fissura propagando-se de cima para baixo	37

Figura 18: Distribuição da tensão dos corpos de prova para o cisalhamento paralelo as fibras segundo a ABNT NBR 7190:1996	38
Figura 19: Corpo de prova para o ensaio de cisalhamento na direção paralelas as fibras de acordo com a NBR 7190:1997.....	40
Figura 20: Mecanismo do ensaio de cisalhamento paralelo as fibras de acordo com a NBR 7190:1997	41
Figura 21: Configuração do carregamento para o ensaio de cisalhamento paralelo as fibras de acordo com a ISO 13910.....	42
Figura 22: Placa de apoio de aço para o ensaio de cisalhamento paralelo as fibras de acordo com a ISO 13910	42
Figura 23: Configuração do carregamento para o ensaio de cisalhamento paralelo as fibras com carga dupla de acordo com a ISO 13910.....	43
Figura 24: Gráfico tensão versus deformação para determinação do modulo de elasticidade. Fonte ABNT NBR 7190:1997	45
Figura 25: Diagrama de carregamento para determinação da rigidez da madeira à compressão	45
Figura 26: Corpo de prova para compressão paralela as fibras de acordo com a ABNT NBR 7190:1997	46
Figura 27: Corpos de prova confeccionados para cisalhamento paralelo as fibras de Pinus elliottii e Eucalyptus saligna seguindo a NBR 7190:1997	48
Figura 28: Corpos de prova de Pinus elliottii para cisalhamento paralelo as fibras de acordo com a ISO 13910:2005	49
Figura 29: Corpos de prova de Eucalyptus saligna para cisalhamento paralelo as fibras de acordo com a ISO 13910:2005	49
Figura 30: Corpo de prova para compressão paralela as fibras de acordo com a ABNT NBR 7190:1997	50
Figura 31: Corpo de prova para compressão paralela as fibras de acordo com a ABNT NBR 7190:1997	50
Figura 32: Corpos de prova de Pinus elliottii e Eucalyptus saligna para cisalhamento paralelo às fibras de acordo com a ABNT NBR 7190:1997	51
Figura 33: Corpo de prova para determinação da umidade da madeira segundo a ABNT NBR 7190:1997	52

Figura 34: Corpos de prova de Pinus elliottii e Eucalyptus saligna para a determinação do teor de umidade de acordo com a ABNT NBR 7190:1997	53
Figura 35: Estufa utilizada para a secagem dos corpos para a determinação do teor de umidade segundo a ABNT NBR 7190:1997	53
Figura 36: Determinação da densidade aparente a partir da umidade (%) do corpo de prova e densidade aparente em g/cm ³ a umidade correspondente.	56
Figura 37: Máquina de ensaios EMIC	57
Figura 38: Ensaio dos corpos de prova para cisalhamento paralelo as fibras da ABNT NBR 7190:1997	58
Figura 39: Corpos de prova com ruptura na seção de cisalhamento.....	58
Figura 40: Ensaio dos corpos de prova de Pinus elliottii para cisalhamento paralelo às fibras segundo a ISO 13910:2005	59
Figura 41: Ensaio dos corpos de prova de Eucalyptus saligna para cisalhamento paralelo às fibras segundo a ISO 13910:2005	59
Figura 42: Corpo de prova de Eucalyptus saligna da ISO 13910:2005 com a ruptura na seção cisalhada	60
Figura 43: Corpo de prova de Pinus elliottii da ISO 13910:2005 com a ruptura na seção cisalhada	60
Figura 44: Corpo de prova no ensaio de compressão paralelo as fibras seguindo a ABNT NBR 7190:1997	61
Figura 45: Corpo de prova da ABNT NBR 7190:1997 de compressão paralela as fibras com ruptura das fibras.....	61
Figura 46: Resistência ao cisalhamento paralelo as fibras do Pinus elliottii analisando metodologia da ABNT NBR 7190:1997 e da ISO 13910:2005	74
Figura 47: Resistência ao cisalhamento paralelo as fibras do Eucalyptus saligna analisando a metodologia da ABNT NBR 7190:1997 e da ISO 13910:2005	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Componentes orgânicos principais da madeira	25
Tabela 2: Teor de umidade (TU) em % dos lotes de eucalipto e pinus utilizados	63
Tabela 3: Densidade Básica dos lotes estudados de <i>Pinus elliottii</i> e <i>Eucalyptus saligna</i>	63
Tabela 4: Densidade Aparente do <i>Pinus elliotti</i> e <i>Eucalyptus saligna</i> corrigidas de acordo com o gráfico de KOLLMANN e CÔTE.....	63
Tabela 5: Módulo de elasticidade paralelo as fibras corrigidas do lote de Pinus com 12% de umidade	64
Tabela 6: Módulo de elasticidade paralelo as fibras corrigidas do lote de Eucalipto com 12% de umidade	65
Tabela 7: Resistência a compressão paralela as fibras corrigidas do lote de Pinus com 12% de umidade	65
Tabela 8: Resistência a compressão paralela as fibras corrigidas do lote de Eucalipto com 12% de umidade	66
Tabela 9: Cisalhamento paralelo as fibras do <i>Pinus elliottii</i> com umidade de 13,87% segundo a ABNT NBR 7190:1997.....	67
Tabela 10: Cisalhamento paralelo as fibras de <i>Eucalyptus saligna</i> com 14,63% de umidade segundo a norma ABNT NBR 7190:1997	68
Tabela 11: Cisalhamento paralelo as fibras do <i>Pinus elliottii</i> com 14,91% de umidade de acordo com a ISO 13910:2005.....	69
Tabela 12: Cisalhamento paralelo as fibras do <i>Eucalyptus saligna</i> de acordo com a ISO 13910:2005.....	70
Tabela 13: Cisalhamento paralelo as fibras do <i>Pinus elliottii</i> com 12% de umidade segundo a ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005	71
Tabela 14: Cisalhamento paralelo as fibras do <i>Eucalyptus saligna</i> com 12% de umidade segundo a ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005	72
Tabela 15: Valores da resistência característicos de Pinus e Eucalipto a 12% de umidade	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVOS GERAIS	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	MADEIRA.....	16
3.2	ANATOMIA, PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DA MADEIRA	18
3.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA.....	25
3.3.1	Fatores que influenciam as propriedades mecânicas da madeira	26
3.3.1.1	Densidade	27
3.3.1.2	Inclinação das fibras	27
3.3.1.3	Direção dos anéis de crescimento	27
3.3.1.4	Presença de nós.....	28
3.3.1.5	Madeira de reação.....	29
3.3.1.6	Presença de medula.....	29
3.3.1.7	Teor de umidade	29
3.3.1.8	Defeitos por ataques biológicos	31
3.3.2	Cisalhamento Paralelo as Fibras	32
3.3.2.2	Métodos de Ensaio Normalizados para Determinação da Resistência da Madeira ao Cisalhamento	38
3.3.2.2.1	<i>NBR 7190:1997 Resistência ao cisalhamento paralelo as fibras</i>	39
3.3.2.2.2	<i>ISO 13910:2005 Shear strength parallel to the grain</i>	41
4	MATERIAL E MÉTODOS	47
4.1	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	47
4.2	PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	47
4.2.1	Corpos de prova segundo a ABNT NBR 7190:1997	47
4.2.2	Corpos de prova segundo a ISO 13910:2005	48
4.2.4	Determinação do teor de umidade pela ABNT NBR 7190:1997... ..	51
4.2.5	Determinação da densidade pela ABNT NBR 7190:1997	54
4.3	ENSAIO MECÂNICO PARA CISALHAMENTO PARALELO AS FIBRAS	56
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	62

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5.2	COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS.....	64
5.3	CISALHAMENTO PARALELO AS FIBRAS SEGUNDO A ABNT NBR 7190:1997.....	67
5.4	CISALHAMENTO PARALELO AS FIBRAS SEGUNDO A ISO 13910:2005 68	
5.5	CORREÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS PARA 12% DE UMIDADE.....	70
5.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	73
6	CONCLUSÕES	78
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades dos materiais é muito importante para a determinação do seu uso em diversas aplicações. No caso da madeira, em especial, observa-se a variação de suas propriedades anatómicas, físicas e mecânicas até mesmo ao longo do comprimento de uma mesma peça.

A madeira por ser um material natural apresenta variações de umidade, resistência, elasticidade, entre outras propriedades, que podem ocorrer em função da variação do ângulo das fibras assim como devido a presença de defeitos.

A madeira é também conhecida por suas características de ortotropia que diferencia ainda as propriedades da madeira em três diferentes direções ortogonais, o que não ocorre com outros materiais conhecidos utilizados na construção civil como o aço e o concreto. Portanto o conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira é essencial no que se refere ao seu comportamento.

Para uso em estruturas de madeira, se a escolha de uma espécie de madeira não for adequada em função principalmente de sua classe de resistência, a qual pode variar segundo a norma brasileira de madeiras entre 20MPa e 60MPa, poder-se-á observar a ocorrência de danos estruturais, e conseqüentemente riscos a vida humana por má utilização do material.

Existem normas técnicas que propõem equações, métodos de cálculos, procedimentos de ensaios entre outras especificações visando o melhor aproveitamento do material em questão.

Dentro da área de madeiras existem várias comissões de normas técnicas, as quais propõem as recomendações para o cálculo e ensaios e elementos envolvendo a madeira.

Dentre elas podemos citar as principais comissões responsáveis por normas técnicas em países da América do Norte, América do Sul e como também da Europa:

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT),

- *International Standardization Organization (ISO)*,
- *British Standards Institution (BSI)*,
- *Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)*,
- *American Society for Testing and Materials (ASTM)*,
- *Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT)*.

No Brasil a comissão técnica responsável pela proposição e revisão da norma de estruturas de madeira é a CE - 02:126.10 da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Vale mencionar também que, atualmente a norma brasileira de madeiras ABNT NBR 7190:1997 encontra-se em processo de revisão e nesse contexto será proposto um método de ensaio, recomendado pela ABNT NBR 7190:1997 que substituirá do corpo principal da norma o atual ANEXO B (que contém os principais procedimentos de ensaio para estruturas de madeira). O “método de ensaio” será, portanto, uma norma independente contendo os principais ensaios a serem realizados quando se considera o material madeira. Nesse sentido, tem-se observado que vários ensaios têm sido realizados pelos membros da comissão de estudos CE - 02:126.10, considerando diferentes normas internacionais, na intenção de definir métodos de ensaio e modelos de corpos de prova mais representativos para a obtenção das propriedades da madeira.

É lógico concluir que, se cada norma técnica tem um método específico e adota um modelo de corpos de prova diferente para a caracterização das propriedades mecânicas da madeira, os resultados e trabalhos usando normas diferentes não serão exatamente iguais. Além disso, mesmo utilizando-se uma mesma espécie de madeira e admitindo-se a mesma norma técnica para um determinado ensaio, ainda assim pode-se esperar variação nos resultados da propriedade obtida para a madeira, se o ensaio for repetido por mais de uma vez. Isso se deve a heterogeneidade do material, além de erros na quantificação das variáveis de ensaio.

Por outro lado, a simetria do corpo de prova para o ensaio de cisalhamento proposto pela ABNT NBR 7190:1997, tem sido motivo de controvérsias principalmente devido a não simetria do mesmo que pode ocasionar o surgimento de excentricidades no corpo de prova no momento do ensaio. Dentro deste contexto, a

norma ISO 13910:2005 propõe que o ensaio de cisalhamento seja realizado com base em um corpo de prova simétrico e que trabalhe como uma viga bi-apoiada em um vão menor, cuja relação entre o comprimento L e a altura do corpo de prova seja menor que 21.

Portanto, o objetivo principal deste trabalho de pesquisa consistiu na avaliação dos modelos de corpo de prova e métodos de ensaio propostos pelas normas brasileira ABNT NBR 7190:1997 e europeia ISO 13910:2005 para comparação dos resultados e facilidades de execução dos testes. Verificou-se também as relações propostas na caracterização simplificada propostas pela norma brasileira ($f_{v0,k}/f_{c0,k}$) para obtenção da resistência ao cisalhamento em função de um valor conhecido da resistência a compressão paralela as fibras da madeira.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo deste trabalho de pesquisa foi analisar tanto para madeiras de pinus (*softwood*) quanto para madeiras de eucalipto (*hardwood*) a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras utilizando as seguintes normas:

- ABNT NBR 7190:1997 Projeto de Estruturas de Madeira;
- ISO 13910:2005 Structural timber — *Characteristic values of strength-graded timber — Sampling, full-size testing and evaluation.*

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar se existe diferença entre a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras entre os documentos normativos ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005 que estabelecem modelos de corpos de prova e metodologias diferentes para obtenção de tal propriedade mecânica.

Analisar também a validade da relação $f_{v0,k}/f_{c0,k}$ para os valores de coeficientes iguais a 0,15 e 0,12 que a ABNT NBR 7190:1997 atualmente estabelece, respectivamente, para madeiras de pinus e eucalipto.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão apresentados, de uma forma geral, a madeira e suas características físicas, químicas, mecânicas e anatômicas. Será discutido mais profundamente os fatores que influenciam nas propriedades mecânicas da madeira e os ensaios mecânicos normalizados que servirão de base para este trabalho. Portanto, a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo as fibras, segundo recomendações das normas ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005 serão explicados e discutidos detalhadamente com o enfoque na diferença entre os modelos dos corpos de prova e métodos de ensaio adotados em cada caso.

3.1 MADEIRA

A madeira tem ajudado na evolução do homem e tem sido um material decisivo na sua sobrevivência e desenvolvimento da civilização. Hoje em dia a madeira ainda continua a ser a matéria prima para um grande número de produtos, embora exista concorrência com outros materiais como os metais, cimento, plástico, entre outros. Depois de cortada a madeira é convertida em vários outros produtos como, por exemplo, madeira laminada, compensado, painéis de partículas, papel e celulose, combustível (fonte de energia) entre outros (TSOUMI,1991).

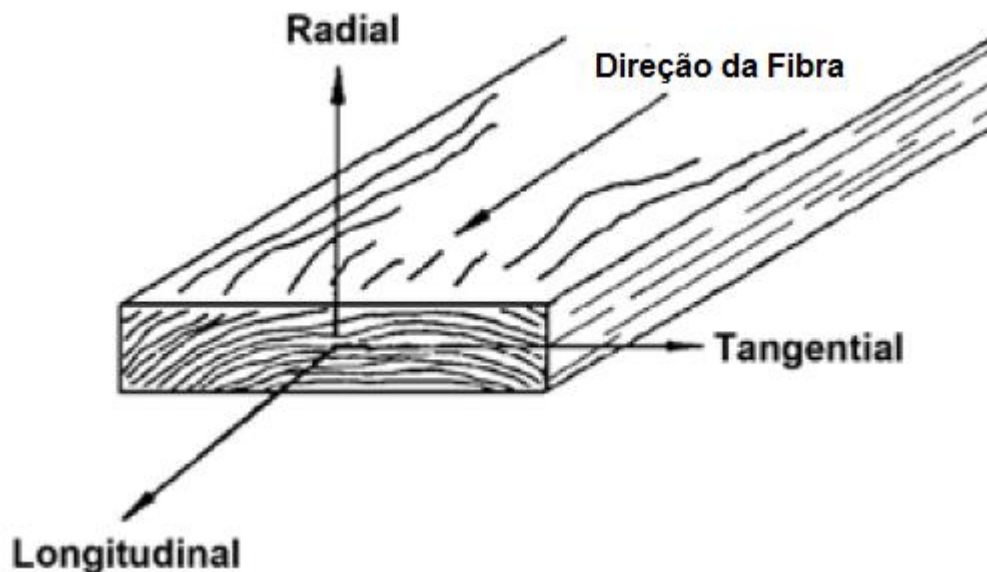
Essa quantidade de produtos variados só é possível devido a madeira apresentar diversas vantagens tais como: grande variabilidade de cores, texturas; por ser um material mecanicamente muito resistente em relação ao seu peso; isolante térmico, e elétrico; por ter excelentes propriedades acústicas, entre outras. Além disso, a madeira pode ser encontrada em todos os lugares do mundo, é biodegradável e é um recurso renovável diferentemente de outros materiais como o petróleo (TSOUMI,1991).

Entretanto, segundo Tsoumi (1991) a madeira possui também algumas desvantagens. A madeira sendo um material higroscópico, apresenta mudanças dimensionais; é um material anisotrópico, ou seja, apresenta propriedades mecânicas distintas em cada direção da madeira; e por ser um produto derivado de um processo biológico, é influenciada por fatores ambientais e hereditariedade.

A variação das propriedades mecânicas é muito comum na madeira. Devido a árvore estar sujeita a constantes variações (condições de solo, espaçamento), as propriedades da madeira variam mesmo em materiais livres de defeitos (KRETSCHMANN et al.,1999).

Como já apresentado, a madeira pode ser considerada como um material ortotrópico com propriedades mecânicas diferentes ao longo dos três principais eixos: longitudinal, tangencial e radial. O eixo longitudinal L é paralelo à direção das fibras, o eixo tangencial T é perpendicular a grã, porém tangente aos anéis de crescimento, enquanto o eixo radial R é normal em relação aos anéis de crescimento (KRETSCHMANN et al.,1999). Essas direções da madeira são mostradas na Figura 1.

Figura 1: As três direções da madeira (longitudinal, radial e tangencial) de acordo com a direção da grã e os anéis de crescimento



Fonte: Adaptado de Kretschmann et.al (1999)

Para Tsoumi (1991) as principais características da madeira a serem consideradas são as organolépticas, físicas e mecânicas. As principais propriedades organolépticas são cor, cheiro, sabor, textura, entre outros. As físicas são

higroscopicidade e massa específica. Por fim as mecânicas são flexão estática, cisalhamento, compressão, tenacidade e dureza.

O conhecimento dessas propriedades é de fundamental importância para se dar a finalidade correta para cada espécie de madeira.

Calegari et al. (2013) cita que a partir desses atributos é que são escolhidos as espécies e clones corretos para um determinado uso, seja para uso estrutural, decorativo, energético, isolamento térmico ou acústico. Além disso, para se saber as propriedades da madeira, testes específicos são realizados em laboratórios que levam em consideração os fatores que fazem variar os resultados. Esses fatores estão relacionados com o material e o método de ensaio. Enfatiza ainda que esses fatores são diminuídos quando se utiliza as normas técnicas, permitindo que os resultados obtidos possam ser comparados com outros estudos.

Todas as propriedades da madeira, como visto acima, devem ser conhecidas de acordo com cada espécie para que se dê a correta utilização das mesmas. Neste trabalho deu-se ênfase as propriedades mecânicas da madeira, em específico a propriedades mecânicas de resistência ao cisalhamento paralela às fibras.

3.2 ANATOMIA, PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DA MADEIRA

Nessa seção serão discutidas a anatomia da madeira, propriedades físicas e químicas.

A madeira, conhecida como xilema, é formada pelo meristema apical e pelo meristema lateral. O meristema apical é responsável pelo crescimento em altura e é encontrado no ápice do caule. Já o meristema lateral é o câmbio vascular que fica entre o floema (casca) e o xilema (madeira) e tem a função de crescimento em diâmetro do tronco. Esses meristemas dão origem aos sistemas longitudinal e transversal (SILVA et al., 1994).

Segundo Ritter (1990), em nível microscópico, a parte estrutural primária da madeira consiste nas fibras e traqueídes. Quando todas as fibras ou traqueídes estão agrupados, eles formam um sistema forte que é geralmente comparado a um

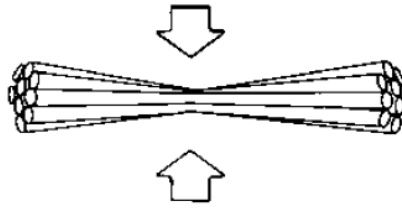
feixe de canudos assim como na Figura 2. Como unidades, os canudos (fibras, traqueides) pesam muito pouco, mas paralelamente ao seu eixo longitudinal, eles podem suportar cargas muito mais pesadas em que as cargas aplicadas são as de compressão. Quando as cargas são perpendiculares ao seu eixo longitudinal, os canudos suportam menos cargas (Figura 3). Utilizando essa analogia é fácil perceber qual é a resistência superior de um compósito celular assim como a madeira.

Figura 2: Feixe de canudos (analogia as células de madeira quando aplicado uma carga paralela as fibras ou traqueides)



Fonte: Ritter (1990)

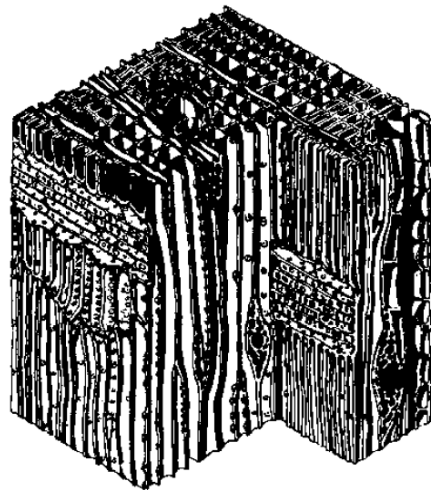
Figura 3: Feixe de canudos (analogia as células de madeira quando aplicado uma carga perpendicular as fibras ou traqueídes)



Fonte: Ritter (1990)

Porém na madeira, cada célula é estruturalmente avançada possuindo várias camadas e filamentos reforçados e não apenas um canudo homogêneo não reforçado, assim como representado na Figura 4.

Figura 4: Estrutura interna da madeira em nível microscópico



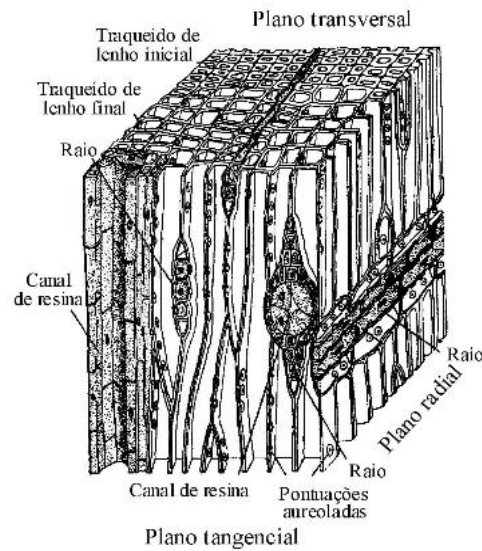
Fonte: Ritter (1990)

As espécies florestais são classificadas em dois grupos devido as diferenças anatômicas da madeira. Os dois grupos são as Gimnospérmicas (Coníferas) e as Angiospérmicas (Folhosas) (XAVIER,2003).

As coníferas apresentam apenas dois tipos de células: os traqueídes e os parênquimas. Os traqueídes são células compridas e tem a função de condução e transporte da seiva, além de possuírem um sistema vertical. Os parênquimas tem a

função de armazenamento e transporte e possuem um sistema horizontal. Os traqueídes e parênquimas estão representados na Figura 5 (XAVIER,2003).

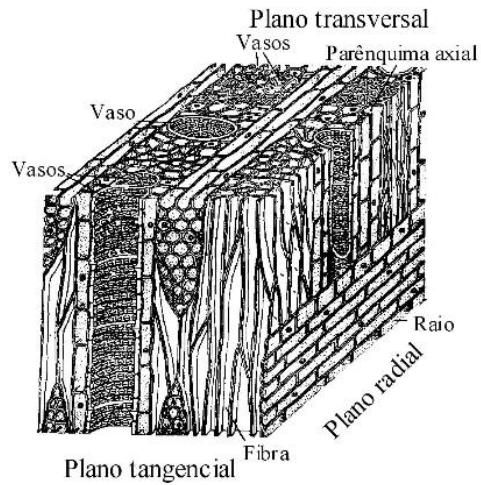
Figura 5: Esquema tridimensional das coníferas



Fonte: Xavier (2003)

As folhosas possuem uma maior variação estrutural e uma estrutura anatômica mais complexa do que as coníferas. As folhosas são constituídas por fibras, vasos, parênquimas axiais e parênquimas dispostos horizontalmente. As fibras têm a função de suporte e possuem um comprimento inferior aos traqueídes. Os vasos possuem a função de transporte e um diâmetro superior a qualquer outra célula. Os parênquimas têm a função de armazenamento. A estrutura anatômica das folhosas está representado na Figura 6 (XAVIER,2003).

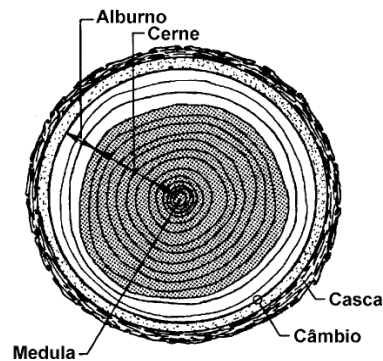
Figura 6: Esquema tridimensional das folhosas



Fonte: Xavier (2003)

A nível macroscópico, a madeira apresenta três partes básicas na sua seção transversal, assim como mostra a Figura 7. A casca é composta por uma camada exterior (camada morta) e uma camada fina de células vivas localizada no interior da casca. A função da casca é proteger a árvore e conduzir os nutrientes para a mesma. O câmbio é uma camada fina e produz as células e está localizado entre o xilema e a casca sendo o único lugar na árvore onde as células do xilema e floema são formadas. O xilema conduz e armazena nutrientes e fornece suporte para a árvore. A medula se localiza no centro e é onde o crescimento da árvore começa (RITTER,1990).

Figura 7: Esquema simplificado da anatomia da árvore



Fonte: Calil Junior et al. (1998)

A madeira é dividida em duas partes gerais: alburno e cerne. O alburno consiste de células ativas e sua função é de armazenamento e de transporte de seiva. O alburno fica localizado perto do câmbio. O cerne possui células inativas que diferem tanto quimicamente como fisicamente das células presentes no alburno. É no cerne que se encontram os extrativos que dão uma cor escurecida a ele e a resistência ao ataque de fungos e insetos. O alburno e cerne também estão representados na Figura 7 (RITTER,1990).

Segundo Calil Junior et al. (1998) as principais características que podem influenciar nas propriedades físicas da madeira são as seguintes: a classificação botânica, o solo e clima da região de onde a árvore teve origem, fisiologia da árvore, anatomia do tecido lenhoso e variação da composição química.

Para a utilização da madeira como material de construção os conhecimentos das seguintes características são essenciais: umidade, densidade, retratibilidade, resistência ao fogo, durabilidade natural e resistência química (CALIL JUNIOR et al.,1998).

A umidade da madeira é um fator muito importante em relação as propriedades mecânicas da madeira. É expressa de acordo com a Equação 1 (PFEIL; PFEIL, 2003).

$$U(\%) = \frac{P_i - P_S}{P_S} * 100 \quad (1)$$

Onde:

U= peso da água contido na madeira em %

P_S = peso da madeira seca em estufa

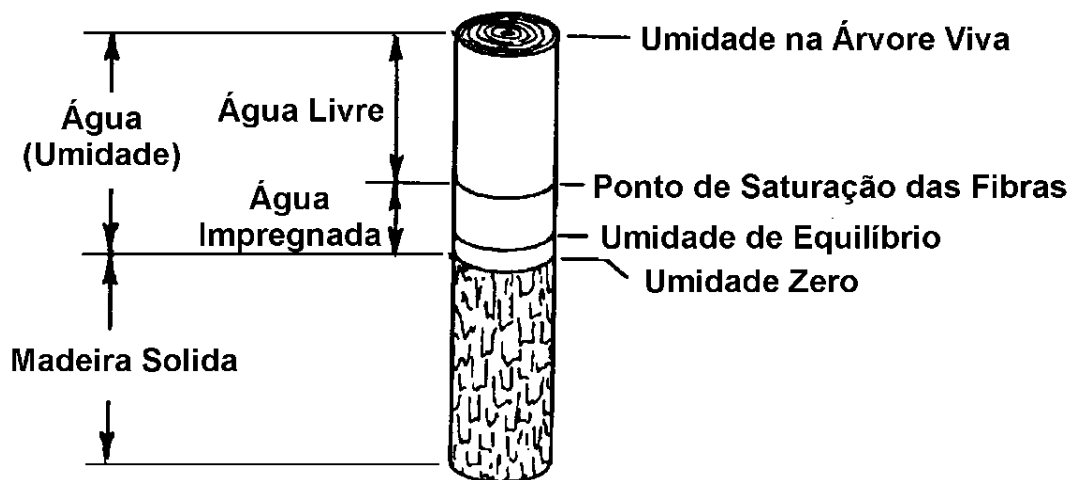
P_i = peso inicial da madeira

A presença da água (umidade) é essencial para um bom desenvolvimento de uma árvore. Ela se apresenta em uma grande porção na madeira verde (CALIL JUNIOR et al.,1998).

Duas formas de umidade estão presentes na madeira: a água no interior das cavidades das células e a água absorvida nas paredes das fibras. Em razão da umidade ser relacionada diretamente com outras propriedades da madeira utiliza-se uma umidade padrão. A norma brasileira adota 12% como umidade padrão (PFEIL; PFEIL, 2003).

Na Figura 8 encontra-se os tipos de água existentes numa árvore.

Figura 8: Umidade da madeira



Fonte: Calil Junior et al. (1998)

Em virtude de a madeira ser um material higroscópico a umidade na madeira sofre variações de acordo com o clima ou estação (PFEIL; PFEIL, 2003).

Com a variação de umidade entre 0% e 30% (ponto de saturação das fibras) a madeira sofre retração ou inchamento, sendo a variação dimensional aproximadamente linear. A dimensão que sofre mais retração é a tangencial, entre 5% a 10% da dimensão verde. Na direção radial a retração é metade da tangencial. Já na dimensão longitudinal é onde ocorre menos retração, cerca de 0,1% a 0,3%. A retração volumétrica é a soma das três retrações (radial, tangencial e longitudinal) (PFEIL; PFEIL, 2003).

A norma brasileira de estruturas de madeira ABNT NBR 7190:1997 apresenta todos os procedimentos detalhadamente para a determinação das

propriedades físicas como a umidade da madeira, que se encontra no anexo B da norma.

Segundo Hellmeister (1983) a densidade da madeira depende da espécie, localização do corpo de prova na tora, umidade e outros fatores. De forma geral a densidade das madeiras se distribuem entre 0,30 a 1,20 g/cm³.

Em relação as propriedades químicas da madeira, o principal componente elementar da madeira é o C₆H₁₂O₆ (glicose), que é formado através da reação de fotossíntese. Reações de polimerização acontecem em seguida e dão origem aos açúcares (CALIL JUNIOR et al., 1998).

Segundo Hellmeister (1983) a composição da análise elementar da madeira apresenta a seguinte composição dos elementos: 50% de carbono, 43% de oxigênio, 6,10% de hidrogênio, 0,04%- 0,20% de nitrogênio e 0,26%-0,60% de cinzas.

Os componentes orgânicos principais da madeira são a celulose, hemicelulose e lignina. A quantidade de cada elemento varia de acordo com a espécie da árvore (CALIL JUNIOR et al., 1998).

Na Tabela 1, de acordo com Hellmeister (1983), apresentam-se as porcentagens de cada componente orgânico principal para as coníferas e folhosas.

Tabela 1: Componentes orgânicos principais da madeira

(%)	Coníferas	Folhosas
Celulose	48-56	46-48
Hemicelulose	23-26	19-28
Lignina	26-30	26-35

Fonte: Hellmeister (1983)

3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

As propriedades mecânicas descrevem as características de um material em resposta a forças externas. São classificadas em propriedades de elasticidade, que são as medidas de distorção e deformação, e em propriedades de resistência,

que descrevem a resistência última de um material quando a ele é aplicado uma carga (RITTER,1990).

As propriedades de elasticidade são as características de um material de voltar a sua forma original sem deformação residual depois que a carga que estava sendo aplicada a ele ser retirada. A madeira é considerada como um material elástico para grande parte das aplicações estruturais apesar de apresentar deformação residual. Essas propriedades elásticas são: módulo de elasticidade longitudinal, módulo de elasticidade transversal e coeficiente de Poisson, representados por E, G e ν , respectivamente, sendo que essas propriedades variam de acordo com as direções das fibras (CALIL JUNIOR et al., 1998).

As propriedades de resistência descrevem as resistências últimas quando aplicadas forças ao material. Essas propriedades estão relacionadas ao comportamento do material em relação a compressão, tensão, cisalhamento, flexão, resistência ao choque e torsão. Assim como nas propriedades elásticas, as propriedades de resistência variam de acordo com as três direções da madeira. Devido a diferença nas propriedades de resistência nas direções tangencial e radial serem pequenas, apenas as direções paralelas e perpendiculares as fibras são consideradas para essa propriedade (RITTER,1990).

3.3.1 Fatores que influenciam as propriedades mecânicas da madeira

Nesta seção serão discutidos quais são os fatores e características da madeira que alteram as propriedades mecânicas. Geralmente são divididos em duas categorias: uma relacionada com as características naturais ou anatômicas da madeira e a outra em relação os fatores ambientais.

Serão discutidas com mais detalhes as características naturais tais como: densidade, inclinação das fibras, direção dos anéis de crescimento, nós, madeira de reação e a presença de medula.

Já para os fatores ambientais serão discutidos fatores em relação ao teor de umidade da madeira e os defeitos por ataques biológicos.

3.3.1.1 Densidade

Variações na densidade da madeira são devidas as diferenças em sua estrutura e a presença de extrativos. Sua estrutura apresenta células diferentes (fibras, traqueídes, vasos, resina, anéis de crescimento). Tendências hereditárias, influências físicas e mecânicas, espessura da parede celular e fatores ambientais tais como solo, afetam a estrutura da madeira afetando assim a sua densidade (KOLLMANN; COTE, 1968).

Segundo Kretschmann et al. (1999) a densidade é um bom indicador das propriedades mecânicas da madeira. Os autores Kretschmann et al. (1999) e Calil Junior et al. (2003) enfatizam que a presença de extrativos e resina aumentam os valores da densidade, mas isso não quer dizer que as propriedades de resistência também aumentem.

De acordo com Kretschmann et al. (1999) as propriedades mecânicas das espécies têm um comportamento mais linear do que curvilíneo em relação a densidade (quanto maior a densidade maior as propriedades mecânicas). De acordo com o estudo feito por esse autor, as propriedades de resistência são influenciadas pela densidade. Quanto maior a densidade maior as propriedades de resistência da madeira.

3.3.1.2 Inclinação das fibras

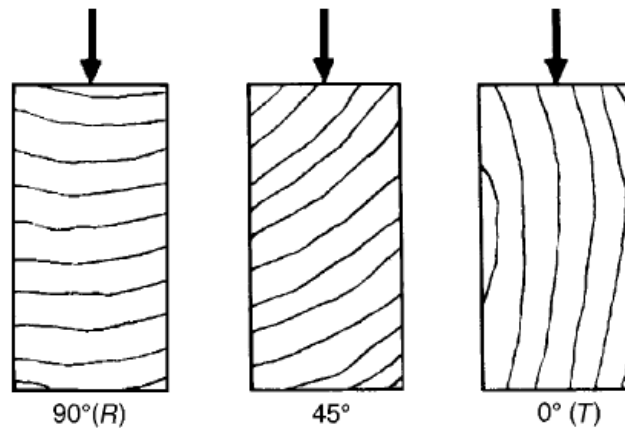
A inclinação das fibras tem forte influência nas propriedades mecânicas e representa o desvio das fibras da madeira em relação a uma linha paralela. A ABNT NBR 7190:1997 permite que a inclinação das fibras seja de até 6 graus. Acima disso adota-se a expressão de Hankinson descrita na Equação 2 e deve ser utilizada para descrever as propriedades mecânicas de forma correta (CALIL JUNIOR et al. 2003).

$$f_{\alpha} = \frac{f_0 \cdot f_{90}}{f_0 \sin^2 \alpha + f_{90} \cos^2 \alpha} \quad (2)$$

3.3.1.3 Direção dos anéis de crescimento

Forças perpendiculares a direção das fibras variam entre os ângulos de 0 a 90 graus em relação aos anéis de crescimento assim como mostra a Figura 9 (KRETSCHMANN et al.,1999).

Figura 9: Direção da aplicação da força em relação a direção dos anéis de crescimento: 90 graus (perpendicular),45 graus e 0 graus (paralelo)



Fonte: Kretschmann et al. (1999)

Em algumas espécies não existe diferença nas propriedades em relação ao ângulo de 0 e 90 graus. Outras espécies apresentam maiores resistências ao cisalhamento paralelo ou tensão perpendicular às fibras para a orientação de 0 graus do que a orientação de 90 graus (KRETSCHMANN et al.,1999).

Módulo de elasticidade, compressão perpendicular às fibras e tensão perpendicular as fibras tendem não apresentar diferenças quando comparados com os ângulos de 0 e 45 graus. Porém para algumas espécies essas propriedades tendem a ser 40% a 60% menores quando a orientação é 45 graus. Para essas espécies com valores das propriedades mecânicas menores que 45 graus, as propriedades mecânicas geralmente são as mesmas nas orientações a 0 e 90 graus. Para espécies com as mesmas propriedades mecânicas a 0 e 45 graus, as propriedades mecânicas tendem ser maiores na orientação de 90 graus (KRETSCHMANN et al.,1999).

3.3.1.4 Presença de nós

Os nós soltos e firmes são os dois tipos de nós que influenciam a resistência da madeira. A resistência diminui porque os nós interrompem a continuidade da direção das fibras da madeira. Porém essa influência na resistência depende do tamanho, localização, forma do nó e tipo de tensão. Geralmente existe maior influência do nó na tração do que na compressão (CALIL JUNIOR et al. 2003).

3.3.1.5 Madeira de reação

Segundo Kretschmann et al. (1999) acredita-se que as madeiras de reação são formadas em resposta da árvore para que o tronco da mesma permaneça na posição normal. Nas coníferas, as madeiras de reação são conhecidas como madeiras de compressão e nas folhosas madeiras de tração.

Não somente as propriedades mecânicas são diferentes nas madeiras de reação, mais também as propriedades anatômicas, químicas e físicas. A maior diferença é em relação a densidade. A densidade nas madeiras de tensão geralmente são de 5% a 10% maiores do que nas madeiras normais, e as madeiras de compressão cerca de 30% a 40% em relação as madeiras normais. Madeira de reação verde, em especial as de compressão, podem ser mais resistentes do que a madeira normal. Porém, se comparado a resistência de madeira de reação com madeira normal com a mesma densidade, a madeira de reação é bem menos resistente (KRETSCHMANN et al.,1999).

3.3.1.6 Presença de medula

De acordo com Calil Junior et al. (2003) a presença de medula numa peça de madeira serrada diminui a resistência mecânica e favorece o ataque da madeira por agentes biológicos, podendo surgir também rachaduras no cerne próximo a medula, rachaduras que são causadas por tensões internas de processamento.

Outros fatores anatômicos também influenciam nas propriedades mecânicas da madeira como madeira juvenil e extrativos.

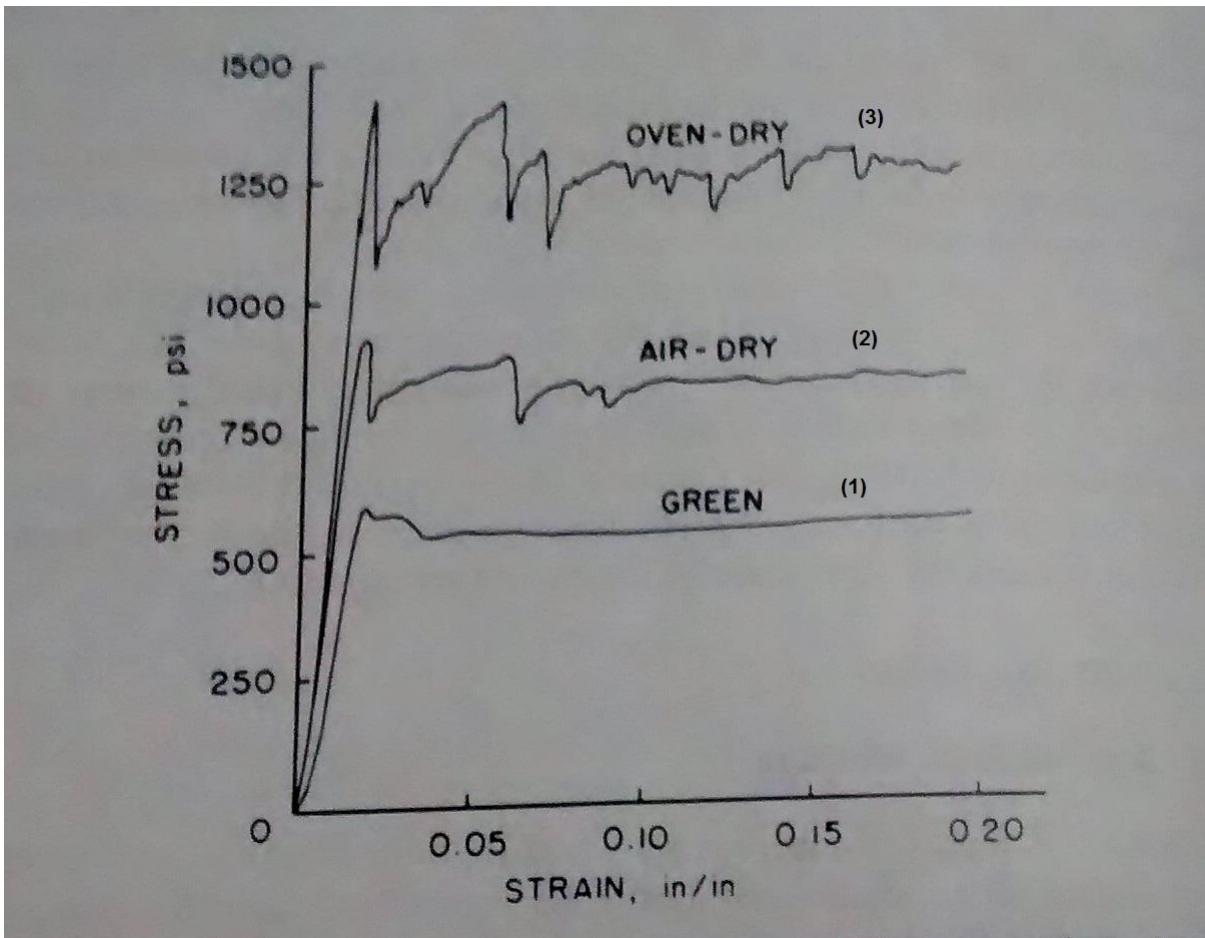
3.3.1.7 Teor de umidade

Segundo Kretschmann et al. (1999) as propriedades mecânicas são influenciadas pelo teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. A

maioria das propriedades mecânicas da madeira do seu estudo realizado aumentaram com a diminuição do teor de umidade.

As propriedades mecânicas da madeira sofrem alterações de acordo com o teor de umidade. Um exemplo de como a umidade altera as propriedades mecânicas da madeira é mostrado na Figura 10. Esse estudo foi realizado com a madeira de Douglas-fir na compressão radial e reflete mudanças no módulo de elasticidade, tensão última e fragilidade. O ápice de cada linha do gráfico, tensão *versus* deformação, mostra mudanças no módulo de elasticidade e fragilidade, que é mostrado nas características das curvas na região de ruptura. Observa-se que nas propriedades mecânicas da madeira, em geral, tendem a aumentar com menores teores de umidade (BODIG; JAYNE, 1982).

Figura 10: Tensão versus deformação de Douglas-fir em compressão radial com vários teores de umidade (Madeira verde (1), madeira seca ao ar (2), madeira em condições forçadas de aquecimento -madeira seca em estufa (3))



Fonte: Adaptado de Bodig e Jayne (1982)

3.3.1.8 Defeitos por ataques biológicos

A degradação da madeira pode ser causada por insetos que perfuram a madeira e por fungos que deixam a madeira com o aspecto azulado e causa podridões (CALIL JUNIOR et al. 2003).

A degradação da madeira por fungos e insetos limita seu uso e prejudica a estrutura. Pode causar também falhas estruturais, se usadas em estruturas. Por isso usa-se tratamentos preservativos para impedir a deterioração por agentes perigosos, porém a utilização dos tratamentos preservativos podem vir a prejudicar as propriedades mecânicas da madeira (BODIG; JAYNE, 1982).

Existem outros fatores ambientais que alteram as propriedades mecânicas da madeira como defeitos de secagem e processamento.

3.3.2 Cisalhamento Paralelo as Fibras

Segundo Moreschi (2012) cisalhamento são os esforços contrários paralelos as fibras da madeira que causam a separação das mesmas por deslizamento. De acordo com o mesmo autor, o cisalhamento é camuflado pelas tensões de compressão, concentrações de tensões e a superposição de tensões principalmente com as de flexão. Devido a esses fatores o ensaio de cisalhamento da madeira se torna problemático.

Segundo Ritter (1990) existem três tipos de cisalhamento para a madeira que são o horizontal, vertical e “rolling”. O cisalhamento horizontal consiste na tendência das células da madeira de se separarem e de deslizarem longitudinalmente, assim como representado na Figura 11.

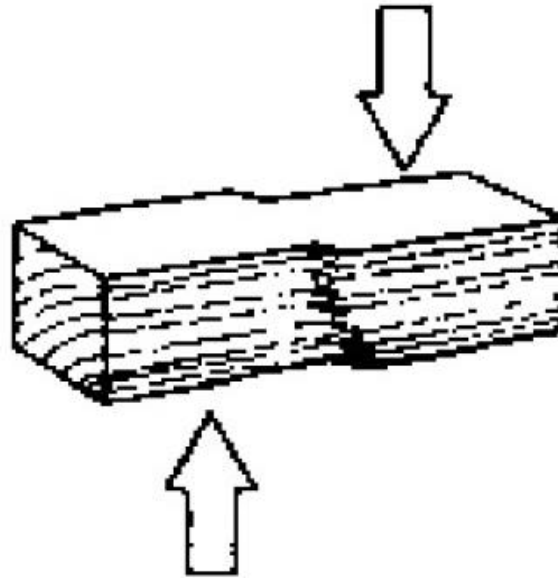
Figura 11: Cisalhamento horizontal



Fonte: Ritter (1990)

Já o cisalhamento vertical não é considerado, pois outros esforços como o de compressão paralela às fibras sempre ocorrem antes do rompimento das paredes das células da madeira por cisalhamento vertical. O cisalhamento vertical deforma as células da madeira perpendicular ao seu eixo longitudinal, assim como mostra a Figura 12.

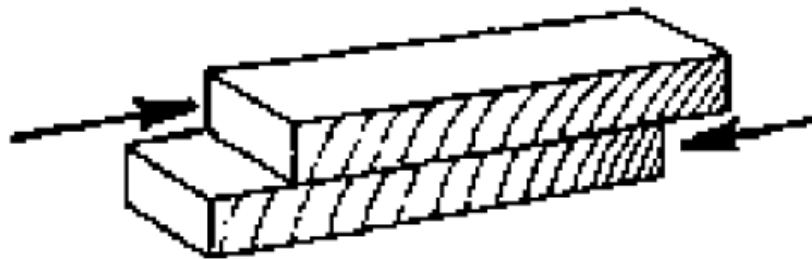
Figura 12: Cisalhamento vertical



Fonte: Ritter (1990)

O cisalhamento “rolling” é a tendência de as células da madeira rolarem uma sobre as outras, transversal ao eixo longitudinal, assim como na Figura 13.

Figura 13: Cisalhamento “rolling”



Fonte: Ritter (1990)

3.3.2.1 Trabalhos relacionados ao cisalhamento paralelo as fibras

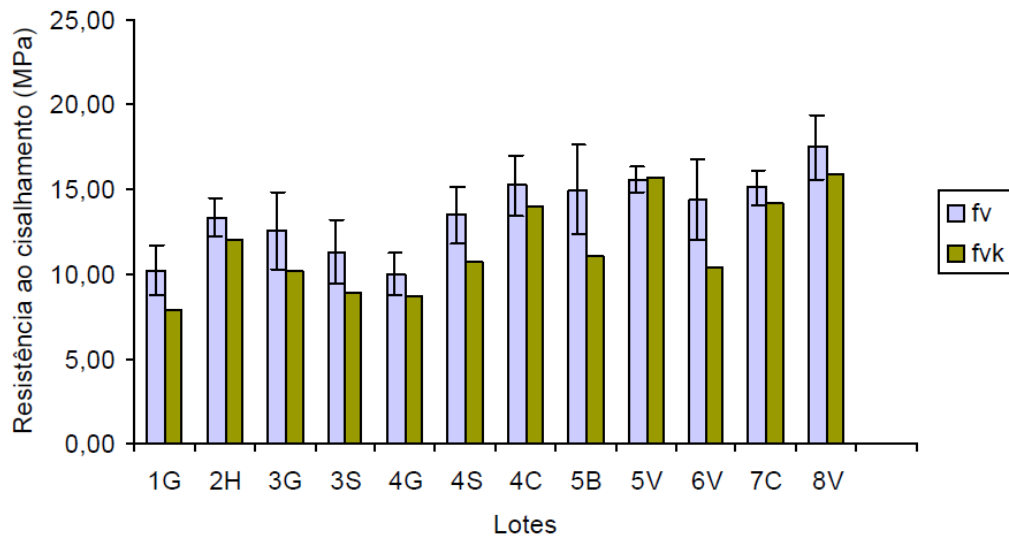
Lobão et al. (2004) realizou a caracterização mecânica de acordo com a ABNT NBR 7190:1997 de um lote de madeira comercial de *Eucalyptus*. O lote foi dividido em dois sublotes devido a densidade do lote não ser homogêneo. Obteve como resultado médio do lote para cisalhamento paralelo as fibras o valor de 10,2 MPa. Concluiu que os dois sublotes se tratavam de espécies diferentes devido

aos resultados finais, e que provavelmente uma das espécies seria *Eucalyptus grandis*.

Logsdon et al. (2007) realizou um estudo para a caracterização mecânica pela ABNT NBR 7190:1997 da madeira *Aspidosperma populifolium* conhecida como peroba mica e obteve como média e valor característico para cisalhamento paralelo as fibras 11,21 e 10,35MPa, respectivamente. Concluiu que a razão encontrada $f_{v0,k}/f_{c0,k}$ foi de 0,16 sendo diferente daquela apresentada pela norma brasileira, relação de 0,12. Devido a essa diferença entre $f_{v0,k}/f_{c0,k}$, o autor sugere a necessidade de revisão das atuais expressões da norma.

Rodrigues (2002) fez um estudo de caracterização mecânica e física de 12 lotes de madeira serrada de *Eucalyptus*, a fim de classificar esses lotes nas classes de resistência proposta pela norma ABNT NBR 7190:1997. Como resultado para cisalhamento paralelo às fibras obteve que um lote foi classificado na classe C40 e os demais na classe C60. O menor valor característico para a resistência ao cisalhamento paralelo as fibras foi de 7,64MPa que corresponde a classe C40. Já os demais valores característicos para o cisalhamento variaram entre 8,71MPa e 15,92 MPa, que correspondem a classe C60. Os valores médios dos lotes para a resistência ao cisalhamento variaram entre 9,99MPa e 17,49MPa. Os valores característicos e médios dos lotes para resistência ao cisalhamento do Eucalipto estão representados na Figura 14. O autor ainda relata que Sales (1996) encontrou valores médios variando entre 7,0MPa e 13MPa para a resistência ao cisalhamento, enquanto que na norma brasileira no anexo E esses valores estão entre 8,3MPa a 12,9MPa.

Figura 14: Valores médios e valores característicos de resistência ao cisalhamento da madeira de Eucalipto



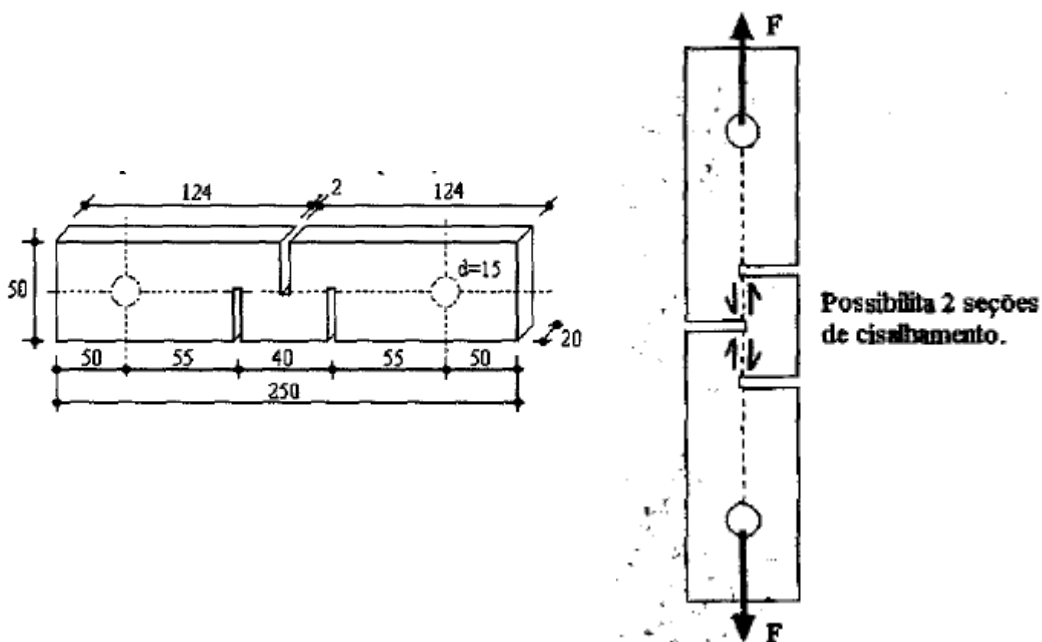
Fonte: Rodrigues (2002)

Brand et al. (2004) caracterizou as propriedades mecânicas de 6 famílias de 30 árvores do gênero *Pinus*. Uma família foi a de *Pinus taeda* (família 999), e as demais foram da espécie *Pinus greggii* (famílias 30,38,39,43,45). Obteve que a família de maior resistência ao cisalhamento paralelo às fibras foram as de 999 e 30, correspondentes as espécies de *Pinus taeda* e *Pinus greggii*, 93,39 e 96,19 kgf/cm², respectivamente. Os resultados para a resistência ao cisalhamento das demais famílias do *Pinus greggii* variaram entre 89,06 a 96,19 kgf/cm². Porém não existiram diferenças significativas a nível de 5% de probabilidade. O autor conclui que o *Pinus greggii* tem potencialidade para o uso estrutural.

Hara (2011) analisou os procedimentos e resultados de três métodos utilizados para a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira. Esses métodos foram a norma brasileira ABNT NBR 7190:1997, um método proposto por Santos Neto (1999), e um método proposto pela própria autora que, consiste em induzir o esforço do cisalhamento através de puncionamento de um corpo de prova prismático simples. As espécies utilizadas foram as seguintes: pinus sp, cedrinho e itauba. A média dos resultados obtidos para o cisalhamento paralelo às fibras utilizando a ABNT NBR 7190:1997 foram 7,22MPa, 9,67MPa e 10,30MPa para as madeiras de pinus sp, cedrinho e itauba, respectivamente.

Santos Neto (1998) realizou um estudo que propõe um corpo de prova (Figura 15) para cisalhamento paralelo às fibras diferentes da norma brasileira. Santos Neto (1998) afirma que a maioria dos ensaios de cisalhamento paralelo às fibras, incluindo a norma brasileira, os corpos de prova têm a presença de excentricidade o que gera tensões que não é somente cisalhamento, mas um conjunto de tensões de flexão e cisalhamento. Isso acaba ocasionado a ruptura dos corpos de prova por outros tipos de tensão e não por cisalhamento puro.

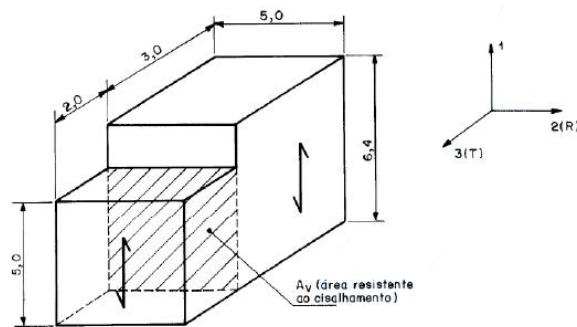
Figura 15: Corpo de prova para cisalhamento paralelo as fibras proposto por Santos Neto (1998)



Fonte: Santos Neto (1998)

A norma brasileira de estruturas de madeira apresenta corpo de prova para cisalhamento paralelo às fibras assimétricas ao eixo do carregamento, assim como na Figura 16, aumentando a excentricidade e gerando outras tensões assim como já descrito.

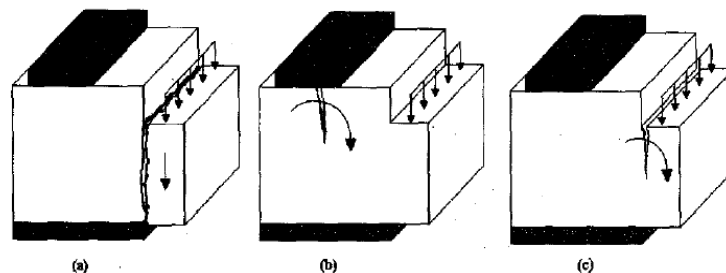
Figura 16: Corpo de prova para cisalhamento paralelo as fibras segundo a NBR 7190:1996



Fonte: ABNT NBR 7190:1997

Na Figura 17 apresenta os tipos de ruptura que podem acontecer no ensaio de cisalhamento paralelo as fibras. O ideal é que os corpos de prova se rompam por cisalhamento (SANTOS NETO, 1998).

Figura 17: Modo de ruptura dos corpos de prova: (a) ruptura por cisalhamento, (b) ruptura na região do apoio, (c) ruptura ao longo da seção do cisalhamento, porém com a abertura da fissura propagando-se de cima para baixo

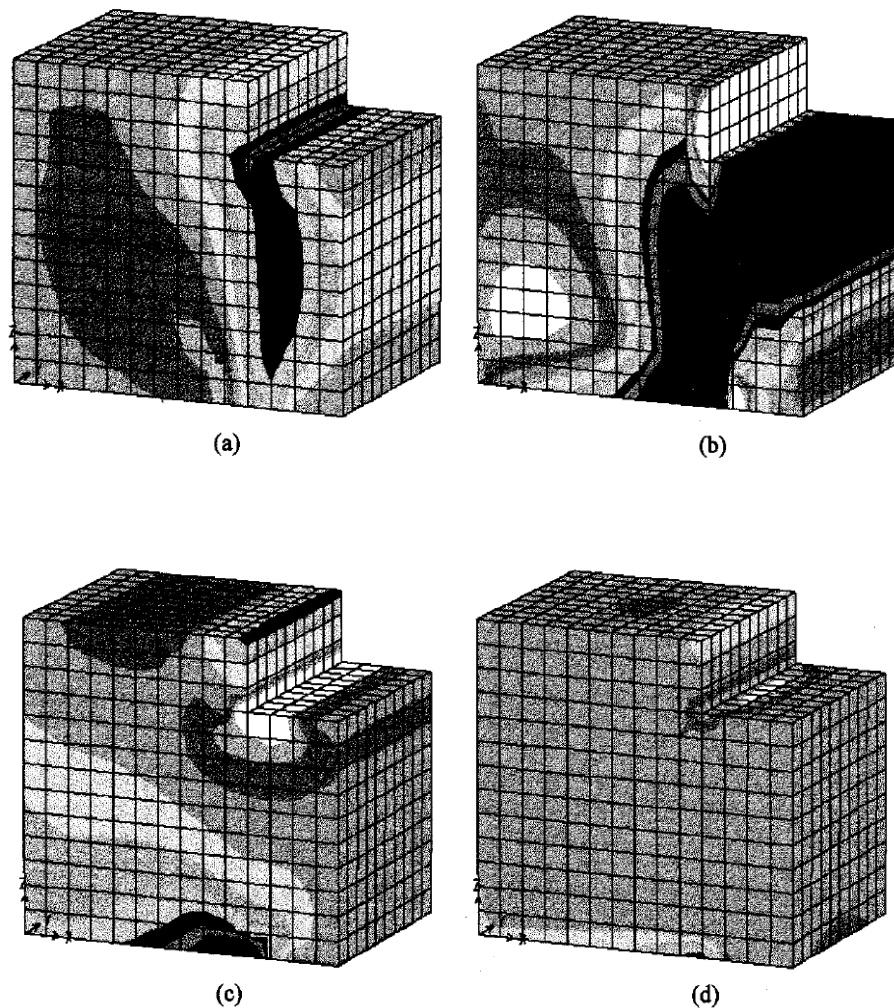


Fonte: Fusco e Ferreira apud Santos Neto (1998, p. 136).

Santos Neto (1998) propõe um corpo de prova com uma geometria simétrica em relação ao eixo de carregamento minimizando assim o problema causado pelos corpos de prova assimétricos. Ele ainda realizou um trabalho teórico que visualiza as distribuições das tensões, que surgem nos corpos de prova para cisalhamento paralelo as fibras proposto pela norma brasileira durante os ensaios, utilizando o método dos elementos finitos. Com as análises realizadas no programa

SAP 2000P, Santos Neto (1998) obteve a distribuição de tensões assim como mostra a Figura 18. Concluiu que nos corpos de prova da norma brasileira a análise numérica indica um estado complexo de tensões de elementos, existindo tensões normais significativas em todas as direções e não somente predominam as tensões de cisalhamento.

Figura 18: Distribuição da tensão dos corpos de prova para o cisalhamento paralelo as fibras segundo a ABNT NBR 7190:1996



Fonte: Santos Neto (1998)

3.3.2.2 Métodos de Ensaio Normalizados para Determinação da Resistência da Madeira ao Cisalhamento

Em todas as áreas de produção tecnológica assim como na área de determinação das propriedades da madeira existem normas técnicas. Na área da

madeira, essas normas técnicas estabelecem os melhores procedimentos para determinação das propriedades anatômicas, físicas e mecânicas da madeira, assim como para o controle de qualidade (CALEGARI et al., 2013).

Algumas normas técnicas na área da madeira propostas pelas seguintes comissões: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), *International Standardization Organization* (ISO), *British Standards Institution* (BSI), *Asociación Española de Normalización y Certificación* (AENOR), *American Society for Testing and Materials* (ASTM), *Comisión Panamericana de Normas Técnicas* (COPANT), entre outras (CALEGARI et al., 2013).

Serão discutidos a seguir os corpos de prova e metodologia para análise da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras dos documentos normativos ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005.

3.3.2.2.1 NBR 7190:1997 Resistência ao cisalhamento paralelo as fibras

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define em seu documento normativo ABNT NBR 7190:1997 a resistência da madeira ao cisalhamento paralelo às fibras, $f_{vv,0}$ ou $f_{v,0}$, dado pela razão entre máxima força cisalhante aplicada ao corpo de prova ($F_{v0,max}$) e a área inicial da seção crítica do corpo de prova, em um plano paralelo às fibras (A_{v0}), de acordo com a Equação 3.

$$f_{v,0} = \frac{F_{v0,max}}{A_{v0}} \quad (3)$$

De acordo com a ABNT NBR 7190:1997 com a Equação 4, o valor característico da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v0,k}$) pode ser obtido assim como para outras propriedades mecânicas em valores característicos. Despreza-se o valor mais alto se o número de corpos de prova for ímpar e coloca-se os resultados em ordem crescente.

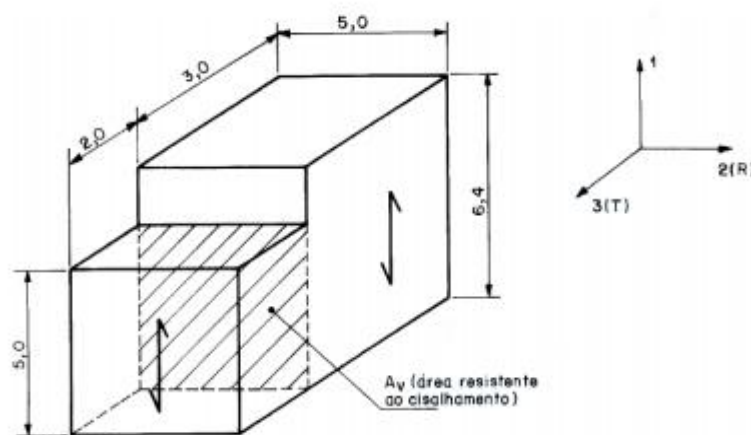
$$x_{wk} = \left(2 \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} - x_{\frac{n}{2}} \right) 1,1 \quad (4)$$

O tamanho da amostra e a extração dos corpos de prova de acordo com ABNT NBR 7190:1997 são que cada lote não deve ter volume superior a 12m^3 . Para a investigação direta de lotes de madeira serrada do lote que será usado deve-se extrair uma amostra com os corpos de prova sendo distribuídos de forma aleatória. Não pode ser tirado mais de um corpo de prova de uma mesma peça, sendo que os mesmos não podem possuir defeitos e devem ser retirados de regiões afastadas das extremidades das peças. Essa extremidade das peças nunca pode ser menor que 30cm e tem que ser de pelo menos cinco vezes a menor dimensão da seção da peça a ser considerada.

A ABNT NBR 7190:1997 tem dois tipos de caracterização e o número mínimo de corpos de prova deve obedecer aos objetivos de cada caracterização. As caracterizações são: caracterização simplificada com seis corpos de prova e a caracterização mínima de resistência das espécies com doze corpos de prova.

Ainda segundo a ABNT NBR 7190:1997 os corpos de prova devem ser confeccionados de acordo com a Figura 19, com o plano da seção crítica paralelo a direção radial da madeira.

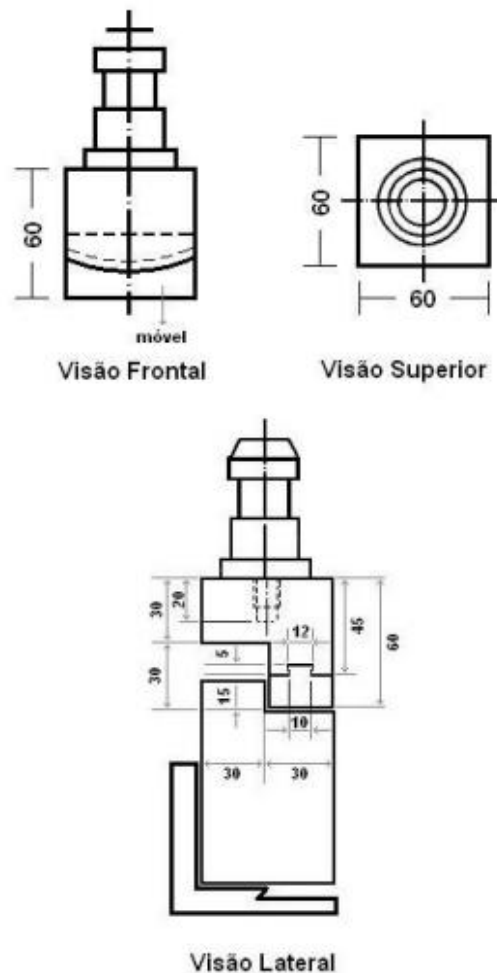
Figura 19: Corpo de prova para o ensaio de cisalhamento na direção paralelas as fibras de acordo com a NBR 7190:1997



Fonte: ABNT NBR 7190:1997

Na ABNT NBR 7190:1997 as medidas dos corpos de prova devem ser com exatidão de 0,1mm. Entre o atuador e o corpo de prova deve-se utilizar uma rótula para o ajuste do corpo de prova na máquina de ensaio. O carregamento deve ser a uma taxa de 2,5MPa/min, monotônico e crescente. Duas amostras, sendo uma com corpos de prova saturados e a outra com teor de umidade em equilíbrio com ambiente, devem ser usadas para a caracterização das espécies quando forem pouco conhecidas. A Figura 20 mostra o mecanismo do ensaio para a determinação do cisalhamento paralelo as fibras.

Figura 20: Mecanismo do ensaio de cisalhamento paralelo as fibras de acordo com a NBR 7190:1997

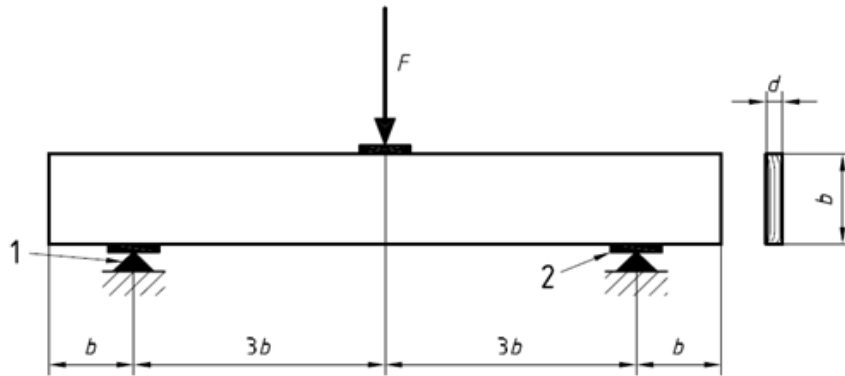


. Fonte: ABNT NBR 7190:1997

3.3.2.2.2 ISO 13910:2005 Shear strength parallel to the grain

A norma internacional ISO 13910:2005 define em seu documento normativo que o mecanismo do cisalhamento paralelo às fibras é obtido de acordo com a Figura 21 e Figura 22.

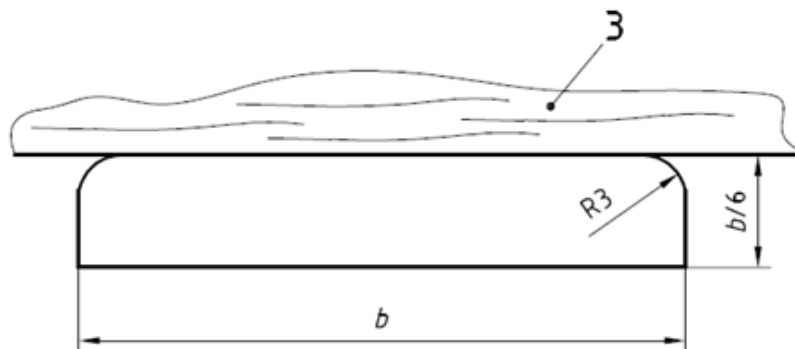
Figura 21: Configuração do carregamento para o ensaio de cisalhamento paralelo as fibras de acordo com a ISO 13910



Fonte: ISO 13910:2005

As dimensões são em milímetros. Número 1 e 2 representa a placa de apoio e o 3 representa o corpo de prova, a madeira (Figura 23).

Figura 22: Placa de apoio de aço para o ensaio de cisalhamento paralelo as fibras de acordo com a ISO 13910



Fonte: ISO 13910:2005

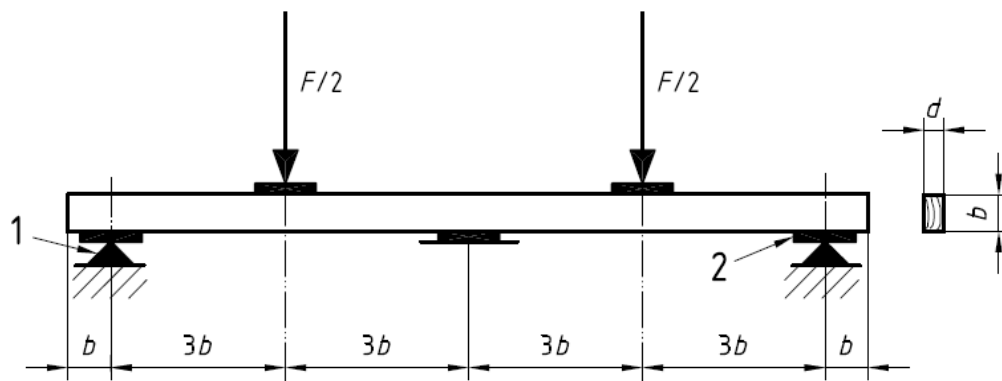
A resistência ao cisalhamento f_v é calculada pela Equação 5, entre o F_{ult} que é o valor de ruptura do corpo de prova vezes 0,75 pela área da seção dx . A

Equação 5 dá o valor nominal da resistência ao cisalhamento de uma viga, fornecendo uma descrição normalizada da capacidade de carga da viga.

$$f_v = \frac{0,75F_{ult}}{db} \quad (5)$$

A norma ISO 13910:2005 apresenta também uma alternativa usando o mecanismo do ensaio com carga dupla, representado na Figura 23, assim como descreve o Apêndice B dessa norma.

Figura 23: Configuração do carregamento para o ensaio de cisalhamento paralelo as fibras com carga dupla de acordo com a ISO 13910



Fonte ISO 13910:2005

Nesse ensaio alternativo, a ISO 13910:2005 recomenda que todos os pontos dos apoios estejam devidamente bem fixos antes de a carga começar a ser aplicada. A resistência ao cisalhamento paralela a fibra é dada pela Equação 6.

$$f_v = 0,516 \frac{F_{ult}}{db} \quad (6)$$

De acordo com a ISO 13910:2005 esta configuração de ensaio com cargas duplas tende a produzir um estado de limite maior para o cisalhamento

paralelo as fibras do que o teste usando apenas uma força aplicada e então deve ser o indicado para o teste de cisalhamento de espécies de *softwoods* que tem uma alta razão entre resistência ao cisalhamento e flexão.

3.3.2.2.3 Compressão paralela as fibras segundo a ABNT NBR 7190:1997

A determinação da resistência a compressão paralela as fibras $f_{c,0}$ é dada pela norma brasileira como a máxima tensão de compressão em Newtons que pode atuar num corpo de prova pela área transversal quadrada em metros quadrados, assim como a Equação 7:

$$f_{c,0} = \frac{F_{c0,max}}{A} \quad (7)$$

O $f_{c,0k}$ é determinado pela Equação 4.

A determinação da rigidez da madeira, módulo de elasticidade (Equação 8), é determinado pela inclinação da reta secante, assim como na Figura 24, da curva da tensão x deformação correspondentes a 10% e 50% da compressão paralela obtida no ensaio de acordo com a ABNT NBR 7190:1997.

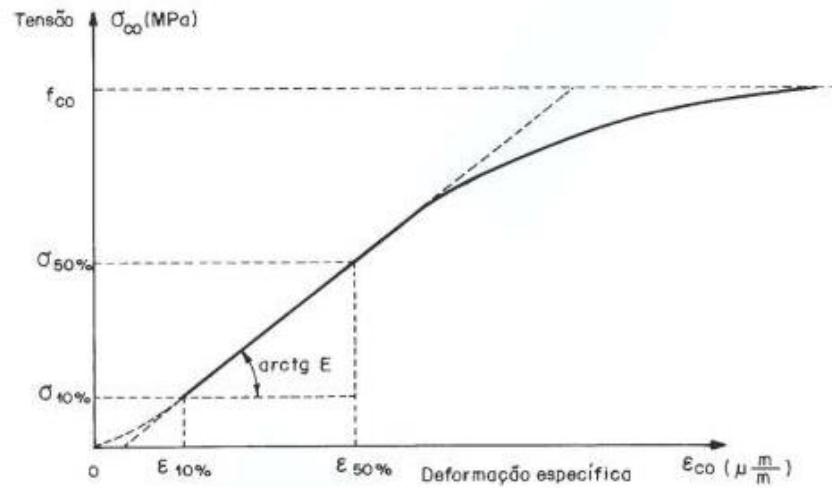
$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (8)$$

Onde:

$\sigma_{10\%}$, $\sigma_{50\%}$: são as tensões de compressão de 10% e 50% de $f_{c,0}$, representadas nos pontos 71 e 85 no diagrama de carregamento da Figura 25.

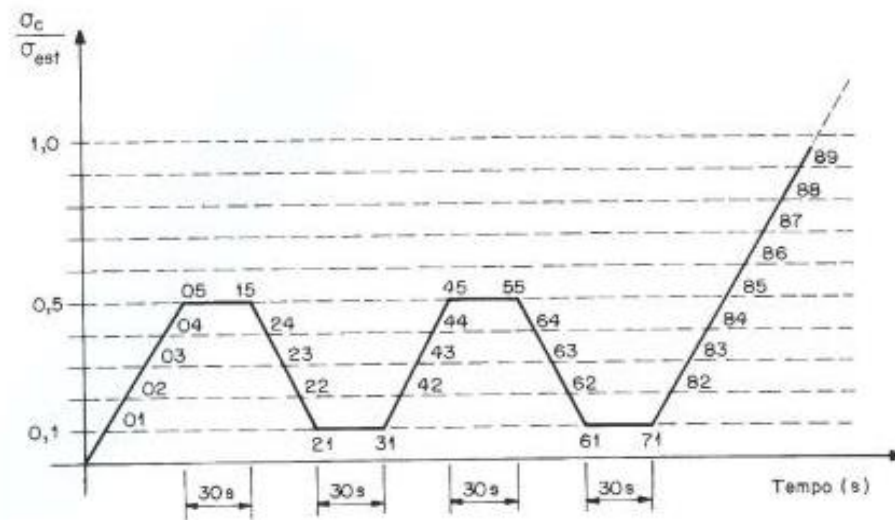
$\varepsilon_{10\%}$, $\varepsilon_{50\%}$: são as deformações específicas dos corpos de prova devido as tensões.

Figura 24: Gráfico tensão versus deformação para determinação do módulo de elasticidade. Fonte ABNT NBR 7190:1997



Fonte ABNT NBR 7190:1997

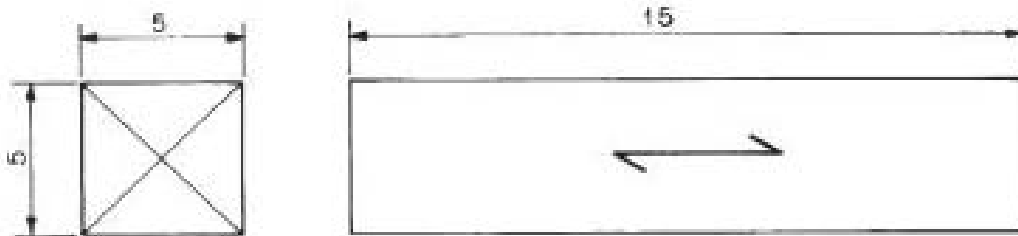
Figura 25: Diagrama de carregamento para determinação da rigidez da madeira à compressão



Fonte: ABNT NBR 7190:1997

As dimensões dos corpos de prova devem ter seção quadrada de 5,0 cm e comprimento de 15 cm, assim como na Figura 26.

Figura 26: Corpo de prova para compressão paralela as fibras de acordo com a ABNT NBR 7190:1997



Fonte: ABNT NBR 7190:1997

As medidas das deformações específicas devem ser feitas com extensômetros (exatidão mínima de 50 $\mu\text{m}/\text{m}$) ou relógios comparadores (0,001 mm de precisão). Deve-se utilizar a rótula entre o atuador e corpo de prova, para ajuste do mesmo na máquina de ensaio. O carregamento deve ser monotônico com dois ciclos de carga e descarga crescente com taxa de 10MPa/min.

Para a determinação do módulo de elasticidade a resistência deve ser estimada pelo ensaio destrutivo do corpo de prova da mesma amostra que será usada.

Na utilização de extensômetros, as deformações devem ser medidas até 70% da carga estimada, depois o extensômetro deve ser retirado e realizar o carregamento até a ruptura do corpo de prova.

Por fim vale dizer que independentemente do método ou tipo de corpo de prova utilizado na determinação da resistência ao cisalhamento, sempre se busca o resultado mais representativo para a propriedade dentro do lote de madeira estudado.

Sendo assim, no item seguinte apresenta-se a metodologia utilizada para a avaliação da resistência ao cisalhamento de madeiras de reflorestamento (pinus e eucalipto) como base na norma brasileira ABNT NBR 7190:1997 assim como na norma europeia ISO 13910:2005.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Nessa seção serão descritos os materiais utilizados e os métodos na realização dos testes mecânicos em geral.

4.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os materiais utilizados foram os lotes de madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii* para a confecção dos corpos de prova para ensaio e para a determinação da umidade e densidade.

Os equipamentos utilizados foram a estufa para a secagem dos corpos de prova para determinação da umidade e densidade, o paquímetro digital para a determinação das medidas lineares da densidade básica e aparente e a máquina de ensaios EMIC para a realização dos ensaios de compressão e cisalhamento paralelo as fibras.

4.2 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Nas seções seguintes serão apresentadas as dimensões e as características gerais dos corpos de prova confeccionados para a determinação da umidade, densidade, compressão paralela as fibras e cisalhamento paralelo as fibras para a ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005.

4.2.1 Corpos de prova segundo a ABNT NBR 7190:1997

Foram confeccionados 12 corpos de prova para a madeira de *Eucalyptus saligna* e 12 corpos de prova para a madeira *Pinus elliottii*, totalizando 24 corpos de prova para o ensaio de cisalhamento paralelo as fibras seguindo a ABNT NBR 7190:1997. As características do corpo de prova estão descritas na seção 2.3.2.2.1 deste trabalho. As dimensões foram descritas na Figura 19. Na Figura 27 estão os corpos de prova para cisalhamento paralelo as fibras de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna* confeccionados seguindo a ABNT NBR 7190:1997.

Figura 27: Corpos de prova confeccionados para cisalhamento paralelo as fibras de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna* seguindo a NBR 7190:1997



Fonte: Autoria própria

4.2.2 Corpos de prova segundo a ISO 13910:2005

Foram confeccionados 12 corpos de prova para *Pinus elliotti* e 12 para *Eucalyptus saligna*, totalizando 24 corpos de prova para cisalhamento paralelo as fibras. As dimensões determinadas seguiram as especificações da Figura 21 desse trabalho. As dimensões utilizadas foram 5x5cm para a seção transversal e 40 cm de comprimento. Na Figura 28 estão os corpos de prova confeccionados para cisalhamento paralelo as fibras seguindo a ISO 13910:2005 para o *Pinus elliotti*.

Figura 28: Corpos de prova de *Pinus elliottii* para cisalhamento paralelo as fibras de acordo com a ISO 13910:2005



Fonte: Autoria própria

Na Figura 29 estão os corpos de prova confeccionados para cisalhamento paralelo as fibras segundo a ISO 13910:2005 para o *Eucalyptus saligna*.

Figura 29: Corpos de prova de *Eucalyptus saligna* para cisalhamento paralelo as fibras de acordo com a ISO 13910:2005



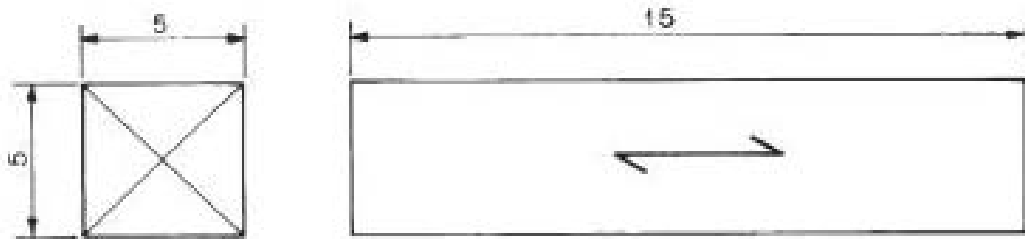
Fonte: Autoria própria

4.2.3 Corpos de prova para compressão paralela as fibras segundo a ABNT NBR 7190:1997

Para uma melhor análise das propriedades mecânicas do lote das madeiras que foram utilizados, corpos de prova para compressão paralela às fibras foram confeccionados. Foram confeccionados 6 corpos de prova para cada uma das

espécies de Pinus e Eucalipto, totalizando 12 corpos de prova para compressão paralela as fibras seguindo a ABNT NBR 7190:1997, com dimensões de 5x5x15cm assim como na Figura 30 e Figura 31.

Figura 30: Corpo de prova para compressão paralela as fibras de acordo com a ABNT NBR 7190:1997



Fonte: ABNT NBR 7190:1997

Figura 31: Corpo de prova para compressão paralela as fibras de acordo com a ABNT NBR 7190:1997



Fonte: Fonte: Autoria própria

As especificações deste ensaio estão descritas na seção 3.3.2.2.3 deste trabalho. Na Figura 32 estão os corpos de prova *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna* para a compressão paralela as fibras.

Figura 32: Corpos de prova de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna* para cisalhamento paralelo às fibras de acordo com a ABNT NBR 7190:1997



Fonte: Autoria própria

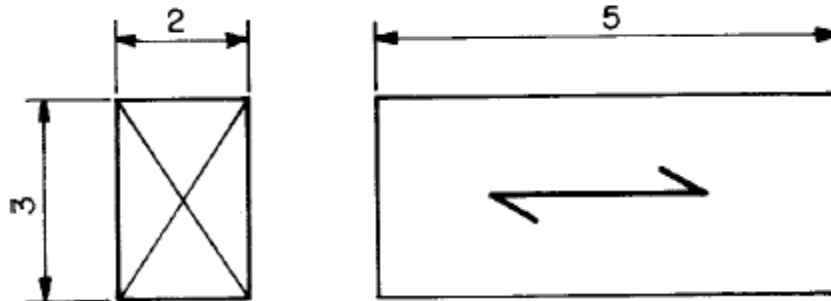
4.2.4 Determinação do teor de umidade pela ABNT NBR 7190:1997

A determinação dos teores de umidade das madeiras utilizadas de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna* foram determinadas seguindo a norma brasileira ABNT NBR 7190:1997.

Foram retirados 12 corpos de prova das vigas de Eucalipto e Pinus tanto para a análise da norma brasileira, como para a análise da ISO 13910:2005, totalizando 24 corpos de prova para a determinação da umidade da madeira.

A ABNT NBR 7190:1997 estabelece que as dimensões do corpo de prova devem ser 2,0cmX3,0cm de seção transversal e 5,0cm ao longo das fibras, assim como mostra a Figura 33.

Figura 33: Corpo de prova para determinação da umidade da madeira segundo a ABNT NBR 7190:1997



Fonte: ABNT NBR 7190:1997

Os procedimentos para a determinação segundo a ABNT NBR 7190:1197 são: determinação da massa inicial (m_i), colocar o corpo de prova na câmara de secagem com uma temperatura máxima de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e massa do corpo de prova deve ser medida a cada 6 horas até que ocorra uma variação igual ao menor a 0,5% entre duas medições seguidas. A massa final pesada será a massa seca (m_s). O teor de umidade será determinado pela Equação 9:

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (9)$$

Na Figura 34 tem-se no total 12 corpos de prova para o Pinus e 12 para Eucalipto para a determinação da umidade dos lotes.

Figura 34: Corpos de prova de *Pinus elliotii* e *Eucalyptus saligna* para a determinação do teor de umidade de acordo com a ABNT NBR 7190:1997



Fonte: Autoria própria

Na Figura 35 está a estufa que foi utilizada para a determinação da umidade dos lotes de madeira de Pinus e Eucalypto utilizadas neste trabalho.

Figura 35: Estufa utilizada para a secagem dos corpos para a determinação do teor de umidade segundo a ABNT NBR 7190:1997



Fonte: Autoria própria

Depois de analisar a massa dos corpos de prova a cada 6 horas, eles apresentaram uma variação igual ou menor a 0,5% depois de alguns dias e assim os teores de umidade dos lotes puderam ser determinados.

Na seção 5 de resultados e discussão, os valores de resistência ao cisalhamento paralelo as fibras e o módulo de elasticidade serão corrigidos para uma unidade a 12% de acordo com a Equação 10 e Equação 11, já que a norma brasileira ressalta que para valores de umidade para os lotes de madeira contidos entre o intervalo de 10 a 20% devem ser corrigidos para o valor padrão a 12%.

$$f_{v12\%} = f_{u\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (10)$$

$$E_{12} = E_{u\%} \left[1 + \frac{2(U\% - 12)}{100} \right] \quad (11)$$

O teor de umidade dos lotes de *Pinus elliottii* e *Eucalytus saligna* se encontram na seção de resultados e discussão deste trabalho.

4.2.5 Determinação da densidade pela ABNT NBR 7190:1997

As densidades básica e aparente dos lotes utilizados na confecção dos corpos de prova foram determinadas utilizando a ABNT NBR 7190:1997. As dimensões dos corpos de prova foram de 2x3cm na seção transversal e 5cm de comprimento, sendo utilizados 12 corpos de prova para Pinus e 12 para Eucalipto.

Os corpos de prova utilizados na determinação da umidade foram imersos em água e pesados a cada 6 horas até que a massa saturada tivesse uma variação igual ou menor que 0,5%. Depois o volume saturado foi determinado, medindo os corpos de prova com o auxílio de um paquímetro digital.

As equações para a determinação das densidades básicas (Equação 12) e aparente (Equação 13) de acordo com a NBR 7190:1997 são as seguintes:

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (12)$$

Onde:

m_s = Massa seca da madeira em kg

V_{sat} = Volume da madeira saturada em m³

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (13)$$

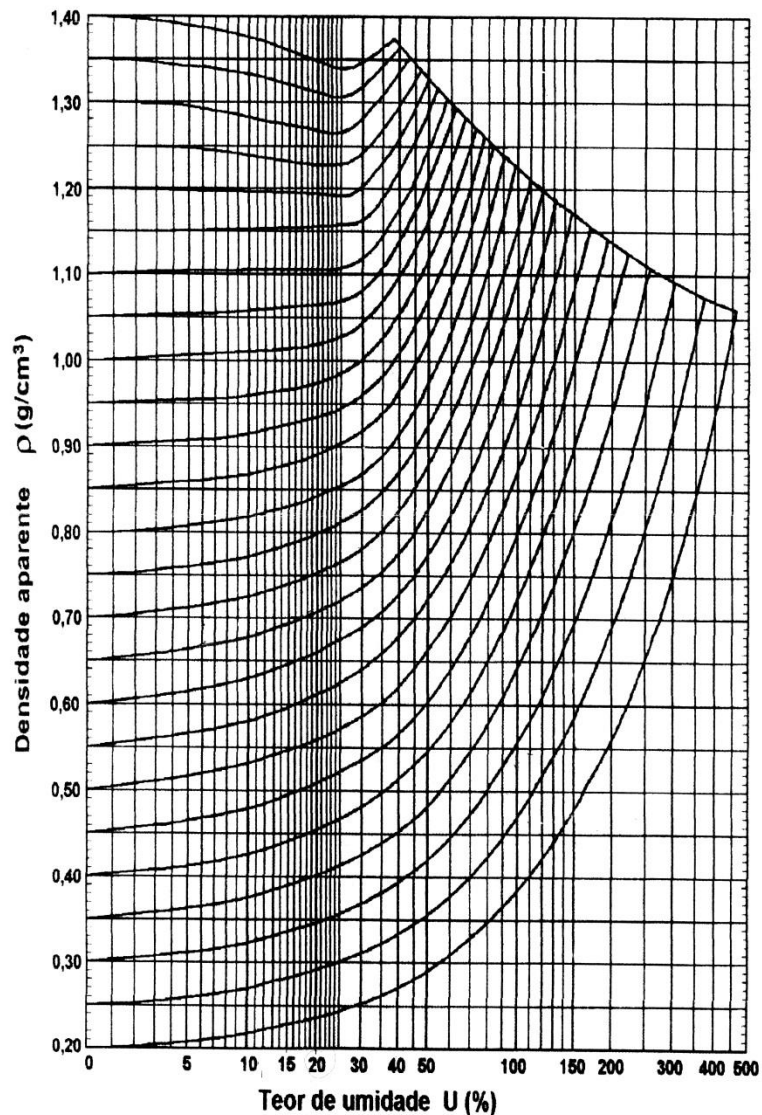
Onde:

m_{12} = Massa da madeira a 12% de umidade em kg

V_{12} = Volume da madeira a 12% de umidade em m³

Para determinar a densidade aparente da madeira a 12% de umidade foi utilizado o método da correção da densidade em função da umidade, já que os valores encontrados para os corpos de prova não estão a 12% de umidade. O método do gráfico de Kollmann e Côte (1984) foi utilizado. O gráfico está na Figura 36. Sabendo a densidade aparente do corpo de prova e sua correspondente umidade, a densidade aparente a 12% pode ser determinada.

Figura 36: Determinação da densidade aparente a partir da umidade (%) do corpo de prova e densidade aparente em g/cm^3 a umidade correspondente.



Fonte: Kollmann e Côté (1984)

As densidades aparentes e básicas dos lotes utilizados neste trabalho estão na seção de resultados e discussão.

4.3 ENSAIO MECÂNICO PARA CISALHAMENTO PARALELO AS FIBRAS

Nesta seção serão discutidos os ensaios mecânicos realizados seguindo as duas especificações normativas ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2015. Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Propriedades Físicas e

Mecânicas da Madeira da Unesp- Campus Itapeva. Os ensaios realizados foram o de compressão paralela às fibras para uma melhor caracterização mecânica dos lotes e o ensaio mecânico de resistência ao cisalhamento paralelo as fibras que é o foco deste trabalho.

Os 24 corpos de prova para cisalhamento paralelo as fibras foram ensaiados até a ruptura na máquina de ensaios EMIC com célula de carga de 300KN assim como mostra a Figura 37.

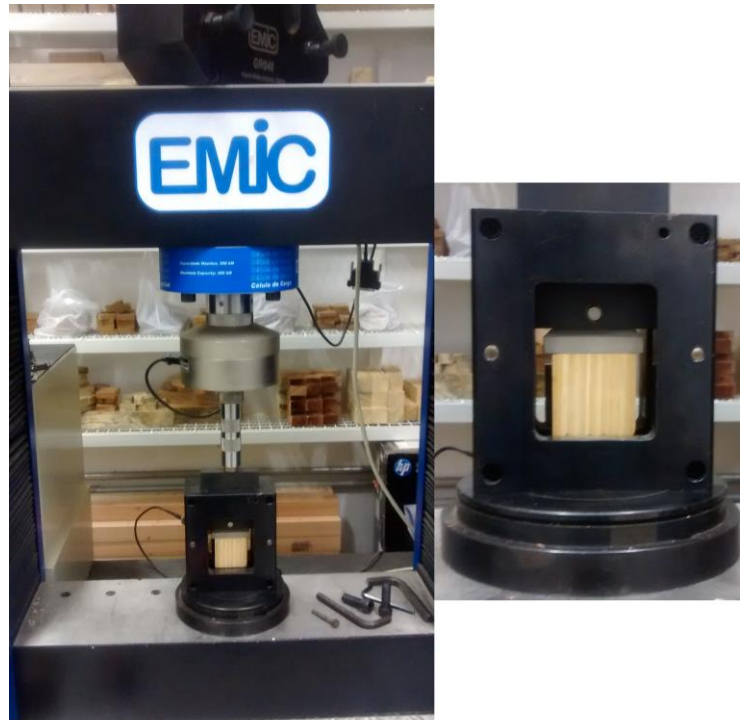
Figura 37: Máquina de ensaios EMIC



Fonte: Autoria própria

Na Figura 38 tem-se os corpos de prova segundo o documento normativo ABNT NBR 7190:1997 sendo ensaiados na máquina EMIC.

Figura 38: Ensaio dos corpos de prova para cisalhamento paralelo as fibras da ABNT NBR 7190:1997



Fonte: Autoria própria

Os corpos de prova foram ensaiados até a ruptura, apresentando falha na seção cisalhada, assim como mostrada na Figura 39.

Figura 39: Corpos de prova com ruptura na seção de cisalhamento



Fonte: Autoria própria

Nas Figuras 40 e Figura 41 tem-se os corpos de prova segundo o documento normativo ISO 13910:2005 sendo ensaiados.

Figura 40: Ensaio dos corpos de prova de *Pinus elliottii* para cisalhamento paralelo às fibras segundo a ISO 13910:2005



Fonte: Autoria própria

Figura 41: Ensaio dos corpos de prova de *Eucalyptus saligna* para cisalhamento paralelo às fibras segundo a ISO 13910:2005



Fonte: Autoria própria

Os corpos de prova também foram ensaiados até a ruptura, apresentando quebra na seção cisalhada, assim como mostra a Figura 42 e Figura 43.

Figura 42: Corpo de prova de *Eucalyptus saligna* da ISO 13910:2005 com a ruptura na seção cisalhada



Fonte: A autoria própria

Figura 43: Corpo de prova de *Pinus elliottii* da ISO 13910:2005 com a ruptura na seção cisalhada



Fonte: A autoria própria

Os corpos de prova para compressão paralela às fibras também foram ensaiados na máquina EMIC, assim como na Figura 44. Os procedimentos do ensaio foram de acordo com a ABNT NBR 7190: 1997, aplicando-se dois ciclos de carga e descarga com uma taxa de carregamento de 10MPa/min.

Figura 44: Corpo de prova no ensaio de compressão paralelo as fibras seguindo a ABNT NBR 7190:1997



Fonte: Autoria própria

Logo depois os corpos de prova foram ensaiados até a ruptura, assim como na Figura 45.

Figura 45: Corpo de prova da ABNT NBR 7190:1997 de compressão paralela as fibras com ruptura das fibras



Fonte: Autoria própria

Mais detalhes sobre os corpos de prova e procedimentos do ensaio de compressão paralela as fibras da norma ABNT NBR 7190:1997 encontram-se na 3.3.2.2.3 deste trabalho.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas realizadas nesse trabalho tiveram a intenção de avaliar se as médias dos valores obtidos para as resistências ao cisalhamento apresentavam diferenças significativas a um nível de significância de 5%.

Portanto, as hipóteses da análise estatística partiram da hipótese nula (H_0) de que as médias da resistência ao cisalhamento das espécies estudadas utilizando as normas ABNT NBR 7190:1997 e a ISO 13910:2005 eram estatisticamente equivalentes. A outra hipótese (H_1) de que as médias de resistência ao cisalhamento das espécies estudadas utilizando as normas ABNT NBR 7190:1997 e a ISO 13910:2005 não eram estatisticamente equivalentes. Os testes estatísticos feitos foram os seguintes: Bartlett's *test*, Shapiro-Wilk e t teste. Todos os testes foram feitos no software R.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção serão apresentados os resultados obtidos deste trabalho assim como a análise estatística e a discussão dos mesmos.

5.1 TEOR DE UMIDADE E DENSIDADE

Com a Equação 9 e os procedimentos de determinação da umidade dos lotes seguindo a ABNT NBR 7190:1997, os teores de umidade foram obtidos e se encontram na Tabela 2.

Tabela 2: Teor de umidade (TU) em % dos lotes de eucalipto e pinus utilizados

Espécie	ABNT NBR 7190:1997(TU %)	ISO 13910:2005(TU%)
<i>Pinus elliotti</i>	13,87	14,91
<i>Eucalyptus saligna</i>	14,63	16,78

Fonte: Autoria Própria

Utilizando a Equação 12 para determinação da densidade básica e os procedimentos para a determinação da mesma, as densidades básicas dos lotes de *Pinus elliotti* e *Eucalyptus saligna* utilizados neste trabalho foram calculados e se encontram na Tabela 3.

Tabela 3: Densidade Básica dos lotes estudados de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*

Espécie	Densidade básica (kg/m³)
<i>Pinus elliottii</i>	479,42
<i>Eucalyptus saligna</i>	663,86

Fonte: Autoria Própria

Para o cálculo da densidade aparente foi utilizada a Equação 13 e depois a densidade aparente foi corrigida para 12% utilizando o gráfico (Figura 36) de Kollmann (1963). Os resultados estão na Tabela 4.

Tabela 4: Densidade Aparente do *Pinus elliotti* e *Eucalyptus saligna* corrigidas de acordo com o gráfico de KOLLMANN e CÔTE

Espécie	Densidade aparente 12% (kg/m³)
<i>Pinus elliottii</i>	520
<i>Eucalyptus saligna</i>	742,5

Fonte: Autoria Própria

No anexo E da ABNT NBR 7190:1997 os valores de densidade aparente para *Eucalyptus saligna* é de 731 kg/m³ e para o *Pinus elliotti* é de 560 kg/m³. O resultado obtido para o pinus foi menor se comparado com o documento normativo brasileiro e já para o eucalipto foi maior. Diferenças que são explicadas pela variabilidade natural da madeira mesmo sendo a mesma espécie.

5.2 COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS

Na Tabela 5 estão os resultados do módulo de elasticidade paralela às fibras lote estudado de *Pinus elliottii*. Os valores dos módulos de elasticidade dos 6 corpos de prova para cada espécie estudada foram corrigidos a uma umidade de 12% utilizando a Equação 11.

Tabela 5: Módulo de elasticidade paralelo as fibras corrigidas do lote de Pinus com 12% de umidade

Corpo de prova	Módulo de elasticidade (MPa)
1	26490
2	22439
3	32326
4	12460
5	15746
6	11559
$E_{c0,m}$	20170
Desvio Padrão	8319
Coef. de variação(%)	41%

Fonte: Autoria Própria

Na Tabela 6 estão os resultados do módulo de elasticidade paralela às fibras do lote estudado de *Eucalyptus saligna*. Os valores dos módulos de elasticidade dos 6 corpos de prova para cada espécie estudada foram corrigidos a uma umidade de 12% utilizando a Equação 11.

Tabela 6: Módulo de elasticidade paralelo as fibras corrigidas do lote de Eucalipto com 12% de umidade

Corpo de prova	Módulo de elasticidade (MPa)
1	23949
2	29800
3	19503
4	21958
5	35996
6	20213
$E_{c0,m}$	25236
Desvio Padrão	6436
Coef. de variação(%)	25,50%

Fonte: Autoria Própria

Na Tabela 7 estão os resultados da resistência paralela as fibras para uma melhor compressão das características mecânicas dos lotes estudados de *Pinus elliottii*.

Os valores característicos de resistência a compressão paralela as fibras foram calculados a partir do estimador centrado apresentado pela Equação 4.

Tabela 7: Resistência a compressão paralela as fibras corrigidas do lote de Pinus com 12% de umidade

Corpo de prova	f_{c0} (MPa)	$f_{c0,k}$(MPa)
1	42	33
2	48	
3	49	
4	37	
5	36	
6	32	
$f_{c0,m}$ (MPa)	41	
Desvio Padrão	6,8	
Coef. de variação(%)	17	

Fonte: Autoria Própria

Na Tabela 8 estão os resultados da resistência a compressão paralela as fibras para um melhor conhecimento das características mecânicas do lote estudado *Eucalyptus saligna*. Os valores das resistências dos 6 corpos de prova para cada espécie estudada foram corrigidos a uma umidade de 12% utilizando a Equação 10.

Tabela 8: Resistência a compressão paralela as fibras corrigidas do lote de Eucalipto com 12% de umidade

Corpo de Prova	f_{co} (MPa)	f_{co,k}(MPa)
1	76	76
2	75	
3	72	
4	72	
5	77	
6	77	
f_{co,m} (MPa)	75	
Desvio Padrão	2,3646	
Coef. de variação(%)	3,17	

Fonte: Autoria Própria

O valor médio obtido para o módulo de elasticidade longitudinal para o *Eucalyptus saligna* foi de 25236,46 MPa e a resistência média à compressão paralela às fibras foi de 74,70 MPa. A ABNT NBR 7190:1997 apresenta valores de 14933 MPa e 46,8 MPa para o módulo de elasticidade e resistência a compressão paralela as fibras, respectivamente. Os resultados obtidos neste deste trabalho apresentaram uma variação percentual de 59% e 62,65% em relação ao módulo de elasticidade e resistência a compressão as fibras, respectivamente, se comparados aos resultados apresentados pela norma brasileira.

Os resultados de módulo de elasticidade longitudinal médio obtido para o *Pinus elliotti* foi de 20169,98 MPa e a resistência média a compressão paralela às fibras foi de 40,50 MPa. O documento normativo brasileiro de estruturas de madeira apresenta em seu anexo E valores de 11 889 MPa e 40,4 MPa para o módulo de elasticidade e resistência a compressão paralela as fibras, respectivamente. Os resultados deste trabalho apresentam uma variação percentual de 58,99% e 0,25%

em relação ao módulo de elasticidade e resistência a compressão às fibras, respectivamente, se comparados aos resultados apresentados pela norma brasileira.

A grande variação percentual obtidas para ambas as espécies estudadas neste trabalho, exceto para a resistência a compressão paralela as fibras do *Pinus elliotti* em que os valores encontrados foram muito próximos ao da norma ABNT NBR 7190:1997, podem ser atribuídas a grande variabilidade natural que a madeira apresenta. A madeira é um material heterogêneo e, nesse sentido, podem ser verificadas variações de suas propriedades tanto de uma árvore para outra como também dentro da mesma árvore ao longo do comprimento.

5.3 CISALHAMENTO PARALELO AS FIBRAS SEGUNDO A ABNT NBR 7190:1997

Na Tabela 9 encontram-se os valores da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras do *Pinus elliotti* a 13,87% de umidade do lote seguindo as especificações de ensaio e corpo de prova de acordo com a ABNT NBR 7190:1997.

Tabela 9: Cisalhamento paralelo as fibras do *Pinus elliottii* com umidade de 13,87% segundo a ABNT NBR 7190:1997

Corpo de Prova	Seção (m²)	f_{v0,max} (N)	f_{v0} (MPa)
1	0,00254	29402,77	11,56
2	0,00254	27384,97	10,8
3	0,00254	21424,53	8,42
4	0,00254	28483,4	11,23
5	0,00254	28263,02	11,11
6	0,00256	26978,65	10,53
7	0,00254	22392,11	8,82
8	0,00256	29196,17	11,43
9	0,00254	27677,65	10,89
10	0,00254	35228,92	13,88
11	0,00255	29674,45	11,65
12	0,00254	23769,45	9,36
Media			10,81
Desvio Padrão			1,452

Coef. de variação (%)	13,44%
------------------------------	--------

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 10 encontram-se os valores da resistência ao cisalhamento paralelo as fibras do *Eucalyptus saligna* a 14,63% de umidade do lote seguindo as especificações de ensaio e corpo de prova de acordo com a ABNT NBR 7190:1997.

Tabela 10: Cisalhamento paralelo as fibras de *Eucalyptus saligna* com 14,63% de umidade segundo a norma ABNT NBR 7190:1997

Corpo de Prova	Seção (m²)	f_{v0,max} (N)	f_{v0} (MPa)
1	0,00245	30115,54	12,29
2	0,00244	32167,78	13,19
3	0,00256	28972,35	11,32
4	0,00255	35204,82	13,82
5	0,00241	28996,46	12,01
6	0,00255	38686,04	15,19
7	0,00244	18294,52	7,51
8	0,00254	28772,64	11,31
9	0,00254	24086,24	9,49
10	0,00255	33397,06	13,1
11	0,00252	31038,36	12,31
12	0,00243	31220,86	12,83
Media			12,03
Desvio Padrão			2,008
Coef. de variação (%)			16,69%

Fonte: Autoria própria

Os valores característicos obtidos para o cisalhamento paralelo às fibras para madeiras de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna* a umidade 12% utilizando a Equação 4 a 13,87% e 14,63% de umidade foram, respectivamente, $f_{v0,k} = 9,11$ MPa e $f_{v0,k} = 9,20$ MPa.

5.4 CISALHAMENTO PARALELO AS FIBRAS SEGUNDO A ISO 13910:2005

Na Tabela 11 encontram-se os valores da resistência ao cisalhamento paralelo as fibras do *Pinus elliotti* a 14,91% de umidade do lote seguindo as especificações de ensaio e corpo de prova de acordo com a ISO 13910:2005.

Tabela 11: Cisalhamento paralelo as fibras do *Pinus elliottii* com 14,91% de umidade de acordo com a ISO 13910:2005

Corpo de prova	Seção (m²)	f_{v0,max} (N)	f_{v0} (MPa)
1	0,00248	9981,51	3,02
2	0,00247	10765,18	3,27
3	0,00270	19364,96	5,38
4	0,00250	13559,6	4,07
5	0,00248	14714,48	4,45
6	0,00251	16941,76	5,06
7	0,00251	12621,25	3,77
8	0,00248	15085,69	4,56
9	0,00247	13673,02	4,14
10	0,00241	11765,4	3,66
11	0,00247	9043,17	2,75
12	0,00243	10012,45	3,09
Média			3,94
Desvio Padrão			0,830
Coef. de variação (%)			21,10%

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 12 encontram-se os valores da resistência ao cisalhamento paralelo as fibras do *Eucalyptus saligna* a 16,78% de umidade do lote seguindo as especificações de ensaio e corpo de prova de acordo com a ISO 13910:2005.

Tabela 12: Cisalhamento paralelo as fibras do *Eucalyptus saligna* de acordo com a ISO 13910:2005

Corpo de Prova	Seção (m²)	f_{v0,max} (N)	f_{v0} (MPa)
1	0,00225	22035,63	7,36
2	0,00230	18199,76	5,93
3	0,00232	25118,76	8,11
4	0,00246	26304,58	8,01
5	0,00246	26727,36	8,13
6	0,00251	27356,36	8,19
7	0,00233	21561,3	6,94
8	0,00251	29367,09	8,78
9	0,00216	21344,76	7,40
10	0,00224	16250,89	5,45
11	0,00234	26057,11	8,36
12	0,00225	16024,04	5,35
Média			7,33
Desvio Padrão			1,175
Coef. de variação (%)			16,02%

Fonte: Autoria própria

5.5 CORREÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS PARA 12% DE UMIDADE

Para que seja possível a comparação entre as resistências ao cisalhamento paralelo às fibras das duas normas, neste trabalho, é fundamental que a comparação dos lotes de Pinus e Eucalipto entre a ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005 estejam na mesma umidade. Todas as umidades foram corrigidas a 12% de umidade de acordo com a equação 10, permitindo assim a análise e comparação estatística dos resultados na seção 5.6.

Na Tabela 13, os resultados para a resistência ao cisalhamento paralelo as fibras do *Pinus elliotti* corrigidos a 12% de umidade para ambas as duas normas estudadas, estão representados.

Tabela 13: Cisalhamento paralelo as fibras do *Pinus elliottii* com 12% de umidade segundo a ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005

Corpo de Prova	ABNT NBR 7190:1997 f_{v0} (MPa)	ISO 13910:2005 f_{v0} (MPa)
1	12,21	2,75
2	11,4	3,02
3	8,9	3,09
4	11,86	3,27
5	11,74	3,66
6	11,12	3,77
7	9,32	4,07
8	12,07	4,14
9	11,5	4,45
10	14,66	4,56
11	12,31	5,06
12	9,88	5,38
Média	11,41	3,94
Desvio Padrão	1,468	0,795
Coef. de variação (%)	12,86%	20,21%

Fonte: Autoria própria

Já na Tabela 14, os resultados para a resistência ao cisalhamento paralelo as fibras do *Eucalyptus saligna* corrigidos a 12% de umidade para ambas as duas normas estudadas, estão representados.

Tabela 14: Cisalhamento paralelo as fibras do *Eucalyptus saligna* com 12% de umidade segundo a ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005

Corpo de Prova	NBR 7190:1997	ISO 13910:2006
	f_{v0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
1	13,26	8,41
2	14,23	6,78
3	12,21	9,27
4	14,91	9,16
5	12,96	9,3
6	16,38	9,36
7	8,1	7,93
8	12,2	10,04
9	10,24	8,46
10	14,13	6,23
11	13,28	9,56
12	13,84	6,12
Média	12,98	8,39
Desvio Padrão	2,166	1,343
Coef. de variação (%)	16,69%	16,02%

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 15 estão os valores característicos para a resistência ao cisalhamento paralelo as fibras a 12% de umidade das madeiras de Pinus e Eucalipto.

Tabela 15: Valores da resistência característicos de Pinus e Eucalipto a 12% de umidade

Espécie	NBR 7190:1997	ISO 13910:2005
	$f_{v0,k}$ (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)
<i>Pinus elliottii</i>	9,62	3,04
<i>Eucalytus saligna</i>	9,93	6,30

Fonte: Autoria Própria

A relação atualizada entre $f_{v0,k}/f_{c0,k}$ para a norma do projeto de estruturas de madeira ABNT NBR 7190:1997 para coníferas é 0,12. A relação utilizada anteriormente era 0,15. Entretanto o resultado da relação obtida com os dados neste trabalho foi de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,289$ para o Pinus.

Para as dicotiledôneas, a relação atualizada entre $f_{v0,k}/f_{c0,k}$ segundo a norma ABNT NBR 7190:2013 é de 0,10. A relação utilizada anteriormente pela

ABNT NBR 7190:1997 era de 0,12. A relação encontrada utilizando os dados deste trabalho foi de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,131$, o que se aproxima mais da relação 0,12 que consta na versão da norma de 1997. Assim como para Logsdon et al. (2007) que a relação $f_{v0,k}/f_{c0,k}$ obtida para as dicotiledôneas não foi 0,12, o autor comenta a necessidade da revisão dessas expressões da atual norma brasileira de estruturas de madeira, (versão de 2013).

5.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

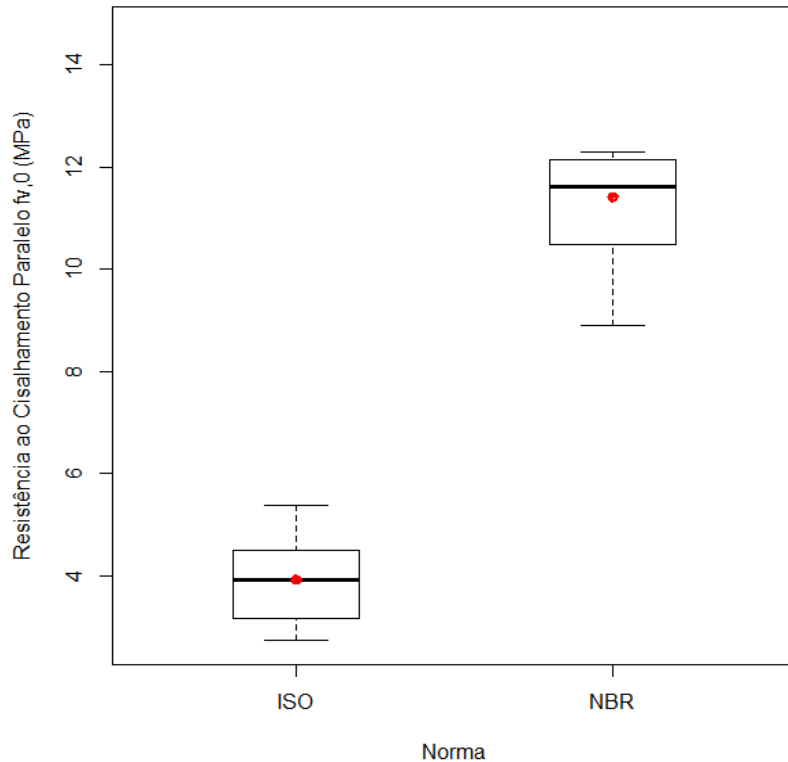
Primeiro foi feito o teste Bartlett's test para analisar se os dados eram homogêneos. Para o *Pinus elliottii* o p-value foi de 0,05304 o que significa que os dados são homogêneos. Já para o *Eucalyptus saligna* o p-value foi de 0,1283, ou seja, os dados foram homogêneos.

Em seguida, para análise da verificação da normalidade dos dados, foi realizado o teste Shapiro-Wilk que verifica se os dados são normais. Para os dados de resistência ao cisalhamento paralelo as fibras do *Pinus elliottii* o p-value foi de 0,002611, o que indica que os dados não são normais. Os resultados para o *Eucalyptus saligna* indicaram a normalidade dos dados, apresentando um p-value de 0,2423.

Logo depois, foi realizado o t teste para a análise das médias da resistência ao cisalhamento paralelo as fibras dos dois documentos normativos estudados neste trabalho. Para o *Pinus elliottii* o p-value do t teste foi de 3,809e-11 o que indicou que as médias entre a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras utilizando a metodologia da ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005 diferem entre si. Para o *Eucalyptus saligna* as médias da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras entre a ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005 são diferentes, apresentando um p-value igual a 6,265e-06.

Os dados da resistência ao cisalhamento paralelo as fibras da espécie *Pinus elliottii* analisando as metodologias de corpo prova e ensaio da ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005 estão na Figura 46 no gráfico de boxplot.

Figura 46: Resistência ao cisalhamento paralelo as fibras do *Pinus elliottii* analisando metodologia da ABNT NBR 7190:1997 e da ISO 13910:2005



Fonte: Autoria Própria

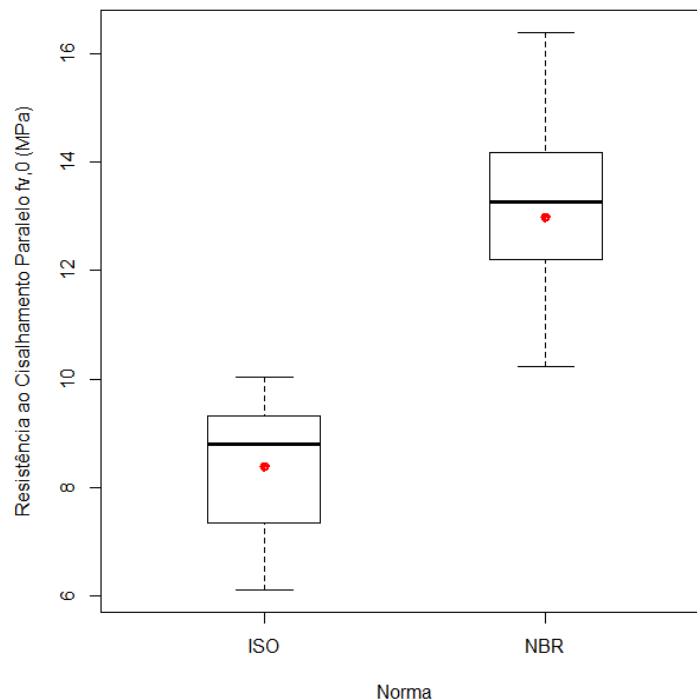
Na Figura 46 a mediana (representa 50% dos dados) é indicada pela linha reta em negrito no gráfico, os limites inferiores (valor mínimo que representa o menor valor) e superiores (valor máximo que representa o maior valor) pela haste e o primeiro quartil (25% dos dados) e o terceiro quartil (75% dos dados) apresentados antes e depois da mediana respectivamente. O ponto vermelho representa as médias. O boxplot permite a visualização completa da variabilidade dos dados para a espécie *Pinus elliottii*. A primeira caixa a esquerda são os dados da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras seguindo a metodologia da norma ISO 13910:2005. Já a caixa da direita representam os dados da resistência ao cisalhamento paralelo as fibras seguindo a metodologia da norma ABNT NBR 7190: 1997.

Outro ponto importante a salientar sobre o boxplot é que a diferença entre os quartis, o primeiro e o terceiro, representa a variabilidade dos dados. Para a ISO

13910:2005 a mediana, limite superior é muito menor que para a norma ABNT NBR 7190: 1997. Já a dispersão dos dados parece ser mais uniforme para os dados da ISO 13910:2005. É fácil de visualizar que os dados da ABNT NBR 7190: 1997 foram muito superiores em relação a ISO 13910:2005.

Os dados da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da espécie *Eucalyptus saligna* analisando as metodologias de corpo prova e ensaio da ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005 estão na Figura 47 no gráfico de boxplot.

Figura 47: Resistência ao cisalhamento paralelo as fibras do *Eucalyptus saligna* analisando a metodologia da ABNT NBR 7190:1997 e da ISO 13910:2005



Fonte: Autoria Própria

Na Figura 47 a primeira caixa a esquerda são os dados da resistência ao cisalhamento paralelo as fibras do *Eucalyptus saligna* seguindo a metodologia da norma ISO 13910:2005. Já a caixa da direita representa são os dados da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras seguindo a metodologia da norma ABNT NBR

7190: 1997. Para a ISO 13910:2005 a mediana e limite superior, assim como para o *Pinus elliottii*, são muito menores que para a norma ABNT NBR 7190: 1997. A dispersão dos dados parece ser mais uniforme para os dados da ABNT NBR 7190: 1997. Analisando os dados de ambos os ensaios, conclui-se que os resultados de resistência ao cisalhamento paralelo as fibras da ABNT NBR 7190: 1997 são muito superiores em relação a ISO 13910:2005. Esses resultados mostram que a ruptura do corpo de prova da ABNT NBR 7190: 1997 no momento de ensaio aconteceu por cisalhamento puro enquanto que a ruptura do corpo de prova proposto pela norma europeia aconteceu por outros esforços e não somente de cisalhamento.

Neste estudo o objetivo principal foi a análise da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras utilizando dois métodos de ensaio e corpos de prova diferentes. As duas normas estudadas foram a brasileira ABNT NBR 7190:1997 e a europeia ISO 13910:2005. Estes ensaios se justificaram em função da proposição do método de ensaio do atual que será recomendado pela versão de revisão da norma brasileira de madeiras de 2013 que atualmente encontra-se em consulta nacional.

Como visto, alguns autores como Santos Neto (1998) argumentam que pôr a norma brasileira de estruturas de madeira apresentar um corpo de prova não simétrico para o ensaio de resistência paralelo as fibras, a ruptura do corpo de prova no momento do ensaio não ocorre por cisalhamento puro e sim por outros esforços antes como os de flexão. Sendo assim os resultados utilizando esses corpos de prova não simétrico apresentam diferentes modos de ruptura dependendo da existência ou não de excentricidades do corpo de prova durante o ensaio. No entanto o modelo de corpo de prova de cisalhamento proposto pela norma brasileira facilita a realização do ensaio.

A ideia de analisar a resistência ao cisalhamento em um corpo de prova simétrico como estabelece a ISO 13910:2005 foi verificar a ordem de grandeza dos resultados e a facilidade de execução do ensaio, já que o corpo de prova é de flexão, neste caso, é de fácil confecção com relação ao proposto pela norma brasileira.

Os valores característicos de resistência ao cisalhamento obtidos pela norma ABNT NBR 7190:1997, para a umidade 12%, para madeiras de pinus e eucalipto, respectivamente, foram de 9,62 MPa e 9,90 MPa. Para a norma ISO 13910:2005 os referidos valores foram da ordem 3,04MPa e 6,30 MPa, para madeiras de pinus e eucalipto, respectivamente.

Os valores da resistência ao cisalhamento calculados pela norma brasileira foram relativamente maiores que os valores obtidos pela norma europeia para ambas as espécies de madeiras de pinus e eucalipto estudas nesse caso. Isso se deve ao fato de que o corpo de prova admitido pela ABNT NBR 7190:1997 no momento do ensaio o corpo de prova rompeu por cisalhamento puro enquanto que a ruptura do corpo de prova da norma ISO 13910:2005 ocorreu devido a um efeito combinado de tração, compressão e cisalhamento.

6 CONCLUSÕES

O corpo de prova usado pela norma brasileira ABNT NBR 7190:1997 no ensaio de cisalhamento direto parece ser ainda ser o mais conveniente na determinação do valor da resistência.

A exemplo do que acontece para outras propriedades segundo a proposta do método de ensaio, o método proposto pela ISO 13910:2005 poderia ser recomendado para a estimativa da resistência ao cisalhamento de peças estruturais submetidas ao esforço combinado na flexão ao invés da recomendação para estimativa do cisalhamento puro como verificado nessa proposta inicial de ensaios.

A verificação dos coeficientes da relação $f_{co,k}/f_{v0,k}$ propostos pela ABNT NBR 7190:1997 para madeiras de pinus e eucalipto foram de 0,289 e 0,131, respectivamente. Os valores propostos pela referida norma, neste caso, para pinus e eucalipto, são de 0,15 e 0,12, respectivamente. Por outro lado, o projeto de revisão propõe os valores de 0,12 e 0,10 para coníferas e dicotiledôneas, respectivamente.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Avaliar o ensaio de cisalhamento a partir da análise numérica com base no método dos elementos finitos para avaliação da distribuição das tensões internas nos corpos de prova avaliados pelas duas normas analisadas e verificação de possíveis excentricidades.

Pesquisa bibliográfica e análise experimental de outros modelos de corpos de prova como também de ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190:1997**: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro: Abnt, 1997.

BODIG, J; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. 2. ed. Florida: Krieger Publishing Company, 1993. 712 p.

BRAND, M.A; KRAMBECK, L. B. P.; SIMAO R.L. Ensaio Experimental de espécies do gênero *Pinus* na avaliação das propriedades mecânicas da madeira: In: III ECTEC- ENCONTRO DE CIENCIA E TECNOLOGIA, 3., 2004, Lages. **III Encontro de Ciência e Tecnologia**. Lages: Universidade do Planalto Catarinense, 2004

CALEGARI, Leandro; CALEGARI, Carina Cristina Agnes; LOPES, Pedro Jorge Goes. Normalização técnica para determinação das propriedades físicas e mecânicas de madeiras. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 4, n. 2, p.122-138, nov. 2013.

CALIL JUNIOR, Carlito et al. **Estruturas de Madeira**: Notas de Aula. São Carlos: Xxxx, 1998. 107 p. Disponível em: <<http://www.civilnet.com.br/Files/MADEIRA/Apostila-madeiras.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

HARA, Massayuki Mario. **Proposta de método de ensaio para determinação da resistência ao cisalhamento paralelo as fibras de madeiras mediante esforço induzido por puncionamento do corpo de prova**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

HELLMEISTER, João Cesar. Madeira e suas características. In: I ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1., 1983, São Carlos. **Anais**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 1983. p. 1 - 37.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 13910:2005**: Structural timber — Characteristic values of strength-graded timber — Sampling, full-size testing and evaluation. Switzerland: ISO, 2005.

XAVIER, Jose Manuel Cardoso. **Caracterização do comportamento ao corte da madeira usando o ensaio de iosipescu**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias das Engenharias, Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro, Vila Real, 2003.

KRETSCHMANN, e David; WINAND, e Jerrold; GREEN, W David. **Mechanical properties of wood**: Wood handbook : wood as an engineering material. Madison: Usda Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. 45 p.

KOLLMANN, F.E.P.; CÔTÉ, W.A. (1984). **Principles of Wood science and technology**. v.1. Solid Wood. Reprint. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo. Springer-Verlag: 1968 – 1984.

LOBÃO, Moisés Silveira et al. Caracterização das Propriedades Físicos-Mecânicas da Madeira de Eucalipto com Diferenças Densidades. **Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p.889-894, ago. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n6/23990.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

LOGSDON, Norman Barros; FINGER, Zenesio; BORGES, Camila Graziela Artioli. Caracterizacao Fisica Mecanica da Madeira de Peroba Mica, *Aspidosperma populifolium* A DC.(APOCYNACEAE). **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p.11-21, jan. 2007.

MORESCHI, João Carlos. **Propriedades da Madeira**. 4. ed. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2012. 194 p. Disponível em: <[http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES DA MADEIRA.pdf](http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES_DA_MADEIRA.pdf)>. Acesso em: 21 jul. 2015.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de Madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc Editora, 2003. 224 p.

RITTER, Michael A. **Timber Bridges**: Design, Construction, Inspection, and Maintenance, Michael. Washington, 1990. 944 p. Disponível em: <http://www.woodcenter.org/docs/em7700_8--entire-publication.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2015.

RODRIGUES, Rodrigo Augusto Dias. **Variabilidade de propriedades físicas-mecânicas em lotes de madeira serrada de eucalipto para a construção civil**. 2002. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SALES, Almir. **Proposição de classes de resistência para a madeira**: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo.1996. 20 p.

SANTOS NETO, Almir Barros da Silva et al. Proposta de ensaio para cisalhamento paralelo as fibras. In: IV ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 6., 1998, Florianópolis. **Anais...** . Florianópolis: Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira, 1998. p. 135 - 143.

SILVA, Ademir Castro e et al. **Noções básicas de Anatomia da Madeira**. Manaus: Instituto de Tecnologia do Amazonas, 1994. 28 p.

TSOUMIS, George. **Science and Technology of Wood**: Structure, Properties, Utilization. Kallenbergers: Verlag Kessel, 1991. 491 p.